4

Die Anwendung

des

Spectralapparates

zur Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes.

Die Anwendung

des

Spectralapparates

zur

Messung und Vergleichung der Stärke des farbigen Lichtes.

Von

Dr. **Karl Vierordt,**

Professor der Physiologie und Vorstand des physiologischen Institutes an der Universität Tübingen.

Mit 3 lithographirten Tafeln.

Tübingen, 1871.

Verlag der H. Laupp'schen Buchhandlung.

Druck von H. Laupp.

Vorwort.

Die in diesem Schriftchen beschriebene photometrische Methode, deren Anwendung ich vorerst auf die Messung der Lichtstärke der in verschiedenen Lichtquellen enthaltenen Einzelfarben beschränkte, gestattet ausserdem die directe Messung der Intensität des gemischten farbigen Lichtes.

Von einer weiteren Verwendung des Spectralapparates zur Bestimmung der Stärke der Absorption, welche die Einzelfarben in diaphanen farbigen Medien erleiden, habe ich im vorigen Jahre, in Poggendorff's Annalen Band 140, eine kurze vorläufige Mittheilung gegeben. Mit der praktischen Benützung dieses Verfahrens zur quantitativen Analyse gefärbter Lösungen bin ich gegenwärtig beschäftigt und hoffe, diese Studien in einigen Monaten zum Abschluss bringen zu können.

Tübingen, 7. Februar 1871.

Der Verfasser.

Inhalt.

		Seite
§. 1.	Physiologische Vorbemerkungen	1
§. 2.	Aeltere Methoden der Messung der Intensität des farbigen Lichtes	5
§. 3.	Neue Methode der Farbenphotometrie	7
§. 4.	Die Anwendung der Rauchgläser	17
§. 5.	Experimentalkritik der Leistungsfähigkeit des Auges für die Farbenphotometrie	24
§. 6.	Maassobject und Grenzen der Farbenphotometrie	34
§. 7.	Die objectiven Intensitätsgrenzen des farbigen Lichtes innerhalb der normalen Farbenempfindungen	38
§. 8.	Reduction des prismatischen auf das typische Spectrum	41
§. 9.	Die Lichtstärke des Sonnenspectrums	45
§. 10.	Die Gesammtlichtstärke des Einzelfarben des Sonnenspectrums	54
§. 11.	Die Lichtstärke der Einzelfarben des Sonnenspectrums bei künstlicher Veränderung der Gesammtlichtstärke	57
§. 12.	Das Sonnenspectrum bei unreiner Atmosphäre	74
§. 13.	Spectrum des diffusen Tageslichtes bei vollständig bedecktem Himmel	78
§. 14.	Spectrum des diffusen Tageslichtes in den verschiedenen Tagesstunden	84
§. 15.	Spectrum der Petroleumflamme	87
§. 16.	Spectrum der Steinkohlengasflamme	94
§. 17.	Die Lichtstärke der Spectren einiger chemischen Elemente	97

Druckfehler.

Seite 5, Zeile 16 von unten, statt »weniger allgemeinen« l. »wenigen, allgemeinen«.
Seite 44, Zeile 8 von oben, statt Tafel I. l. Tafel II.
Tabelle XVII, 2te Verticalspalte, statt »verletzt« l. »verlegt«.

§. 1. Physiologische Vorbemerkungen.

In der Unfähigkeit des Auges und der Sinne überhaupt, zur unmittelbaren Wahrnehmung auch nur der Gleichheit — geschweige der Unterschiede — der Stärke qualitativ verschiedener Sinnesreize liegt die Ursache, wesshalb die Wissenschaft eine brauchbare und jedem Beobachter leicht zugängliche Methode zur Messung der Stärke des farbigen Lichtes bisher entbehren und schmerzlich vermissen musste.

Die Leistungen unserer Unterscheidungsempfindlichkeit für Intensitätsdifferenzen der objectiven Sinnesreize fallen überhaupt sehr verschieden aus je nach der Natur der Aufgabe, um die es sich handelt. Unter Umständen sind dieselben so exact, dass sie als zuverlässige, durch keine anderen Verfahrungsweisen zu ersetzende, direkte Hülfsmittel der physikalischen Messung benützt werden können; in anderen Fällen erweisen sie sich, weil schwankend und ungenau, unbrauchbar zur objectiven Messung, ohne übrigens dadurch von ihrem physiologischen Interesse etwas zu verlieren. Mögen nun diese Leistungen exact sein oder unexact, immer sind sie mit einem bestimmten Fehler behaftet, dessen Grösse in sämmtlichen Sinnesgebieten annähernd festgestellt worden ist, mit Ausnahme des Geruchsinnes, dessen Reize, wenigstens zum Zwecke des physiologischen Versuches, quantitativ sich nicht genau abstufen lassen.

Am Besten gelingt uns die Unterscheidung und Vergleichung qualitativ gleicher Reizgrössen. Dabei kann es sich um zwei Aufgaben handeln:

I. Erkennung der Gleichheit zweier oder mehrerer qualitativ gleicher Reizgrössen. Der mit dieser Leistung verbundene Fehler findet bekanntlich sein Maass in dem kleinsten verhältnissmässigen Unterschied zweier Reizgrössen, der einen eben noch merklichen Empfindungsunterschied auslöst. Sezen wir die günstigsten Nebenbedingungen des Versuches (vor Allem die erforderlichen absoluten Grössenwerthe der mit einander zu vergleichenden Sinnesreize) voraus, so ist die Unterscheidungsempfindlichkeit:

1) für Lichtstärken $\frac{1}{120}$ (Masson), ja selbst $\frac{1}{180}$ (Aubert). Diese Bestimmungen sind mittelst der wechselnden Eindrücke der Masson'schen Scheibe gewonnen; für die gewöhnlichen Versuchsbedingungen, wo die Lichter, die mit einander in Bezug auf ihre Stärke zu vergleichen sind, ruhig bleiben, ist die Unterscheidungsempfindlichkeit etwa um die Hälfte geringer:

2) für Schallstärken blos $\frac{1}{12,5}$ (Renz und Wolff);

3) für Geschmackstoffe: $\frac{1}{10}$, mit 80 % richtiger Entscheidungen (F. Keppler):

4) für Temperaturgrade $\frac{1}{6}{}^0$ R. (E. H. Weber);

5) für Druckwirkungen (Gewichte) $\frac{1}{40}$ (E. H. Weber);

6) für Raumgrössen, mittelst des Sehsinnes $\frac{1}{60}$—$\frac{1}{100}$ (Fechner, Volkmann);

7) für Raumgrössen, mittelst des Getastes, unter Beihülfe des Muskelsinnes des Armes $\frac{1}{100}$ (Zernial);

8) für Zeitgrössen: mittelst des Getastes $\frac{1}{11}$, mittelst des Gehörs $\frac{1}{11}$—$\frac{1}{12}$ (Vierordt). Letztere Bestimmungen sind nach der Methode des »mittleren Fehlers« angestellt: für das Gehör erhielt Mach, nach der, die Leistungen des Sinnes viel weniger auf die Probe stellenden Methode des »eben noch merklichen Unterschiedes« einen Werth von $\frac{1}{19}$ [1]).

1) Die Unterscheidungsempfindlichkeit für Lichtstärken wurde von zahlreichen Forschern, wegen ihrer eminent praktischen Bedeutung,

II. Schätzung der Grössenverschiedenheit zweier qualitativ gleicher Reizgrössen. Blos die Generalsinne, der Zeit- und der Raumsinn, verschaffen uns, als eigentlich messende Sinne, deutliche Empfindungen von Multipla der Reizgrössen. Wir erkennen mit Bestimmtheit nicht blos Grössenunterschiede zweier, gleichzeitig oder unmittelbar nach einander verglichener Dimensionen, oder zweier auf einander folgenden Zeitintervalle, oder endlich zweier mit verschiedener Geschwindigkeit bewegten Körper, sondern sind auch im Stande, den numerischen Werth des Unterschiedes annähernd anzugeben.

In den übrigen Sinnesgebieten, den sog. Specialsinnen, welche specifische Empfindungen vermitteln, die mit denen der anderen Sinne nicht vergleichbar sind, nimmt zwar die Stärke der Empfindung ebenfalls zu mit wachsender Stärke des Reizes; deutlich ausgesprochene Multipla der Empfindungen sind aber entschieden nicht vorhanden und wenn dann und wann behauptet wird, wir empfänden z. B. dieses Licht als 3mal stärker als jenes, so beruht das auf einer Selbsttäuschung. Indem wir die Intensitätsdifferenzen z. B. von Ton- oder Lichtstärken ganz beiläufig als »sehr gross«, »gross« u. s. w. bis

---

seit mehr als einem Jahrhundert mit immer besseren Hülfsmitteln festgestellt; die Werthe sub 1 beziehen sich auf die neuesten Ermittelungen. Bei den übrigen Sinnen beschränkte ich mich auf die Angabe der, der Zeit nach ersten Untersucher der betreffenden Gebiete; manche derselben sind zudem durch keine weiteren Nachprüfungen controlirt. Die Bestimmungen sub 2, 3, 7 und theilweis 8, wurden im hiesigen physiologischen Institut ausgeführt.

Die Vergleichbarkeit der Werthe in obiger Zusammenstellung wird durch den Umstand beeinträchtigt, dass die Versuche nach principiell verschiedenen Methoden angestellt wurden. Die Einen haben nämlich den sog. »mittleren Fehler« bestimmt; die Anderen verfuhren nach der Methode »der richtigen und falschen Fälle«; noch Andere beschränkten sich einfach auf die, am wenigsten empfehlenswerthe, wenn auch schnell zum Ziel führende, Ermittelung des »eben merklichen Unterschiedes«.

herab zum »Ebenunterscheidbaren« bezeichnen, steht uns im Verhältniss zu den möglichen enormen Unterschieden der objectiven Reizgrössen nur eine auffallend geringe Zahl einzelner Empfindungscategorien zu Gebot. Dasselbe ist der Fall bei der Unterscheidung der Temperaturen, der Concentrationsdifferenzen von Geschmacksstoffen u. s. w.

Handelt es sich endlich um die Vergleichung der Stärke zweier qualitativ verschiedener Reize innerhalb desselben Sinnesgebietes, so wird unsere Sinnlichkeit auf eine noch härtere Probe gestellt. Wir sind ausser Stand, die Empfindungen, welche zwei differente Geschmackskörper, wie Süss und Bitter, oder zwei sehr verschiedene Tontimbres, oder zwei weit von einander abstehende Tonhöhen u. s. w. verursachen, in Bezug auf ihre Intensität auch nur mit beiläufiger Zuverlässigkeit vergleichen zu können; ja es wird uns sogar die scheinbar viel leichtere Aufgabe, zwei qualitativ verschiedene Reize desselben Sinnes auch nur in Bezug auf die etwaige Gleichheit ihrer Reizstärke mit einander zu vergleichen, nahezu unmöglich. Bei verwandten Farbentönen, z. B. Gelb und Grün, mag diese Aufgabe noch einigermaassen gelingen, bei sehr differenten Farben aber, wie Blau und Gelb, wird sie zur Unmöglichkeit. Desshalb kann für die Technik der Farbenphotometrie weder die direkte Vergleichung der verschiedenen Farben unter sich, noch die Vergleichung sämmtlicher Farben mit einer einzigen, als Comparator dienenden Farbe in Anwendung gezogen werden und haben wir uns nach einem anderen Princip umzusehen, das, auf einer anerkannt hervorragenden Leistung unseres Farbensinnes beruhend, das vorliegende Problem auf einem Umweg zu lösen gestattet.

§. 2. Aeltere Methoden zur Messung der Stärke des farbigen Lichtes.

Die Wissenschaft ist auffallend arm an Bemühungen, welche die Messung und gegenseitige Vergleichung der optischen Intensität verschiedenfarbiger Lichter zum Zwecke haben. Die erfolgreichen Untersuchungen der neuesten Zeit über die Spectren zahlloser Lichtquellen beziehen sich so gut wie ausschliesslich auf die Farbenqualitäten der Einzelspectren, die chemische und thermische Intensität ihrer verschiedenen Lichtarten und die, möglichst genaue, Ortsbestimmung derjenigen Stellen, welche für jedes Spectrum characteristisch sind. Auf die optische Lichtstärke der Einzelbezirke der Spectren wurde — abgesehen von den, schon vor einem halben Jahrhundert angestellten Messungen Fraunhofer's — nur beiläufig Rücksicht genommen und dieselbe bloss mit den weniger allgemeinen und desshalb ungenügenden Empfindungscategorien verglichen, welche der Sprache zur Bezeichnung verschiedener Intensitätsgrade, vom Stärksten bis herab zum Kaummerklichen, zu Gebote stehen. Die mächtigen Fortschritte der Spectralanalyse gebieten eine Wiederaufnahme der farbenphotometrischen Studien um so dringender, als jedes Spectrum nur sehr unvollständig charakterisirt ist, wenn man seine Hauptqualität, nämlich die Lichtstärke seiner Einzelbezirke nicht näher kennt.

Im Interesse der Vervollkommnung der achromatischen Objective versuchte zunächst Fraunhofer in seiner berühmten Abhandlung über »die Bestimmung des Brechungs- und Farbenzerstreuungsvermögens verschiedener Glasarten u. s. w.« [1]), die Lichtstärke des Sonnenspectrums, und zwar an 8 verschiedenen Stellen, zu messen. Das Spectrum wurde

1) Denkschriften der bair. Akademie. Jahr 1814 u. 1815. Seite 193.

durch ein Fernrohr beobachtet; vor dem Ocular war ein kleiner Planspiegel von Metall angebracht, dessen scharf begrenzter, in der Brennebene des Ocular's liegender, Rand das Sehfeld in der Mitte durchschnitt. Die eine Hälfte des Sehfeldes war somit durch den Spiegel verdeckt. Der Spiegel reflektirte das Licht einer kleinen Oelflamme, die in einem in das Ocularrohr seitlich mündenden und in seiner Länge geschlitzten Rohr verschoben werden konnte. Die mit einer Blendung versehene Flamme wurde so lange verschoben, bis die Helligkeit des mit gelblichem Licht erleuchteten Spiegels ebenso stark erschien, als die Helligkeit der in der anderen Hälfte des Sehfeldes sichtbaren Spectralfarbe.

Dieses Verfahren steht in hohem Grade unter dem störenden Einfluss der am Ende des vorigen §. hervorgehobenen Schwierigkeiten, die Fraunhofer sehr wohl kannte, jedoch — wie seine in §. 9 erwähnten Messungsresultate beweisen — durch fortgesetzte Uebung und glückliche Organisation seiner Augen bis zu einem gewissen Grade zu besiegen im Stande war. Nur wenige Augen dürften zur Anwendung dieser Methode befähigt sein, bei welcher das subjective Urtheil zu sehr dominirt, als dass eine genügende Uebereinstimmung verschiedener Beobachter in der Vergleichung der Stärke ungleichfarbigen Lichtes zu erwarten wäre. Desshalb ist diese Methode bis jezt von Niemanden, ausser ihrem berühmten Urheber, in Anwendung gezogen worden.

Ein zweites, zuerst von Lampadius [1]) vorgeschlagenes und von verschiedenen Physikern modificirtes Verfahren sezt sich zur Aufgabe, die Farben derartig zu schwächen, bis sie schliesslich verschwinden. Osann benützte zu diesem Zwecke Flächen von gehöriger Grösse, die von einem Lampenlicht in einem sonst dunkelen, geräumigen Zimmer beleuchtet und so lang vom Auge des Beobachters entfernt wurden, bis sie

1) Gehler's Wörterbuch, 2. Aufl. VII. 482.

schliesslich verschwanden. Das Verhältniss der Lichtstärken verschiedener, das Licht reflektirender, Flächen wird durch die Quadrate derjenigen Abstände der Flächen von der Lampe ausgedrückt, bei welchen die Flächen anfangen, unsichtbar zu werden. Will man z. B. die Stärke des von farbigen Gläsern durchgelassenen Lichtes untersuchen, so werden dieselben, der Reihe nach, vor die Oeffnung eines vor dem Auge befindlichen Durchsichtsrohres gebracht und hierauf eine weisse Tafel so lange von der Lichtquelle entfernt, bis der oben bezeichnete Punkt eintritt. Da jedoch die Einzelfarben gerade in dem Bereich ihrer geringsten Helligkeitsgrade keine proportionale Verminderung ihrer physiologischen Lichtstärke erfahren, so kann diese Methode, wie längst zugegeben ist, zu keinen allgemein gültigen Ergebnissen führen.

Die sehr vervollkommneten Photometer der Neuzeit schliessen die Vergleichung verschiedenfarbigen Lichtes vollständig aus und die vor 10 Jahren [1]) ausgesprochene Behauptung Dove's, »dass die photometrischen Methoden in der Regel ihren Dienst versagen, wenn die zu vergleichenden Lichtquellen verschiedenfarbig sind oder wenn es sich um die Bestimmung der Helligkeit des in einem gegebenen Raum zerstreuten Lichtes handelt«, gilt auch heute noch in ihrem ganzen Umfang.

§. 3. Neue Methode der Farbenphotometrie.

In Poggendorff's Annalen [2]) veröffentlichte ich bereits eine vorläufige Beschreibung der von mir angewandten Maassmethode der Lichtstärke der Einzelfarben des zusammengesetzten Lichtes und fügte, zur Erläuterung ihrer Anwendbarkeit, einige Beobachtungsreihen hinzu über die Lichtstärke der Farben des Sonnenspectrums, des Spectrums einer Petro-

1) Poggendorff's Annalen. 114. Band. S. 145. 1861.
2) Bd. 137, S. 200. 1869.

leumflamme und des von farbigen Papieren reflectirten Lichtes.

Zu diesem Zweck dient ein mit den erforderlichen Nebenvorrichtungen versehener Spectralapparat.

Lässt man nämlich auf die Austrittsfläche des Prisma's eines, auf irgend eine Lichtquelle eingestellten, Spectralapparates durch das Scalenrohr, dessen Scala entfernt wurde, weisses oder weissliches Licht von genügender Stärke fallen, so überwiegt der Helligkeitseindruck des Weiss so sehr, dass die Spectralfarben vollständig ausgelöscht werden. Kann das weisse Licht blos durch eine, die Stelle der Scala einnehmende, horizontale Spalte zum Prisma gelangen, so erhält man einen entsprechenden weissen Streifen, welcher die ganze Breite des Spectrums durchzieht, dessen Farben oberhalb und unterhalb des Streifens in unveränderter Lichtstärke und unverändertem Farbenton sichtbar bleiben.

Wird nun durch Abschwächung des weissen Lichtes die Lichtstärke des Streifens gemindert, so erhält letzterer einen schwachen Anflug von den benachbarten Spectralfarben, zunächst im Orange, Gelb und dem weniger brechbaren Theil des Grün; mit zunehmender Lichtschwächung auch in den übrigen lichtärmeren Theilen des Spectrums. Geht die Minderung des weissen Lichtes noch weiter, so werden die Farben des Streifens immer mehr gesättigt, bis schliesslich die von den reinen Spectralfarben erleuchteten Stellen des Sehfeldes nicht mehr unterschieden werden können von der durch das abgeschwächte Weiss und die Spectralfarben zugleich erleuchteten Stelle.

Das Auge besitzt bekanntlich eine grosse Unterscheidungsempfindlichkeit für Sättigungsgrade der Farben, welche die Unterscheidungsempfindlichkeit für Intensitätsdifferenzen gleichfarbigen Lichtes bedeutend übertrifft. Nach Aubert [1]),

1) Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. S. 139.

der an der Masson'schen Scheibe experimentirte, wird die Grenze der Empfindlichkeit für eine Pigmentfarbe erreicht, wenn dieselbe mit 120 bis 180 Theilen Weiss gemischt ist. Nach demselben Forscher erzeugt ein Zusaz von $\frac{1}{360}$ Weiss zu intensiv gefärbten Pigmenten eine »sehr deutliche und auffallende Veränderung in der Nuance ihrer Farbe« und es genügt eine noch geringere Menge Weiss, um eine »eben merkliche« Veränderung der Nuance hervorzubringen. Das Auge besitzt jedenfalls eine mehr als genügende Fähigkeit, um den Punkt, auf den es bei unserem Verfahren ausschliesslich ankommt, richtig erkennen zu können [1]).

Genaue Beobachtungen verlangen einen Apparat, der ein gehörig vergrössertes Spectrum herstellt. Zu weit darf die Vergrösserung aber nicht getrieben werden, weil durch Anwendung mehrerer Prismen die Lichtstärken bedeutend beeinträchtigt und somit im Bereich der unteren Grenze der objectiven Reizscala, die in ihrem ganzen Umfang untersucht werden soll, keine Beobachtungen mehr möglich wären. Der von mir benützte Spectralapparat Nr. 116 des neuesten Preiscourantes der Steinheil'schen Werkstätte, liess mir für die Zwecke der Farbenphotometrie wenig zu wünschen übrig.

Das vor der Eintrittsspalte für das Licht befindliche Prisma, welches bei der chemischen Spectralanalyse zur Zuführung der zweiten Lichtquelle dient, wird entfernt. Die Scala des Scalenrohres wird durch eine Messingplatte (*MM*)

---

1) Bei unserer Farbenphotometrie sind übrigens die Nebenbedingungen des Versuches nicht so günstig, als beim Experimentiren an der Masson'schen Scheibe. Das Auge kann desshalb seine maximale Leistungsfähigkeit in der Auffassung von Sättigungsunterschieden der Farben nicht zur vollen Geltung bringen. Auch darf nicht unerwähnt bleiben, dass die Versuche an der Masson'schen Scheibe immer nur für die speciellen Pigmente, welche die Experimentatoren anwandten, Gültigkeit haben. Einer Verallgemeinerung der Resultate steht der Umstand entgegen, dass man die Lichtstärke der Pigmente bisher nicht messen konnte.

ersezt, welche an ein kurzes Ansazrohr *R* (s. die Seitenansicht, Fig. 2) befestigt ist, das über das Scalenrohr des Spectralapparates geschoben wird. Die Platte *M M* ist mit einer horizontalen Spalte *a* (Fig. 1) verschen, die 2 Millimet. hoch und 17 M.m. lang ist, so dass ihre Länge nahezu dem Querdurchmesser des Rohres gleichkommt. Der auf der Platte *M M* liegende und die Spalte *a* verdeckende undurchsichtige Schieber *S S* hat eine kleine, 4eckige Spalte *m m* von 1,55 M.m. Höhe und 0,47 M.m. Breite [1]), deren Ränder mit s' Gravesand'schen Schneiden versehen sind. Ein vor der Spalte befindliches Licht entwirft demnach auf der Austrittsfläche des Prisma's ein Bild der Spalte, dessen Breite etwa $\frac{1}{17}$ der ganzen Spectralbreite einnimmt. Die Spalte *m m* (wir wollen sie »bewegliche« Spalte nennen) wird für jede Stelle des Spectrums mittelst der, mit einem kreisförmigen Schliz *k* versehenen, Alhidade *A* eingestellt. Ein auf dem einen Ende des Schiebers rechtwinkelig befestigter Stift *b* steckt in dem Schliz und wird, sammt dem Schieber, durch einen an der Alhidade bequem angebrachten Handgriff (*H*) verschoben. Die Verschiebung selbst wird an dem graduirten Kreisbogen (*K* der Seitenansicht Fig. 2) abgelesen [2]).

---

1) In der Zeichnung ist die Spalte *m m* absichtlich grösser gegeben.

2) Der Kreisbogen ist auf beiden Seiten graduirt, so dass die Ablesungen auch vom Beobachtungsfernrohr aus gemacht werden können.

Das übliche Verfahren, welches mittelst der beleuchteten festen Scala die einzelnen Stellen des Spectrums bestimmt, ist nicht für alle Fälle anwendbar. Bei überhaupt schwachen Spectren, oder in den lichtärmeren Theilen eines sonst hellen Spectrums, überwiegt die Lichtstärke der Scala derartig, dass der Eindruck der benachbarten lichtarmen Bezirke beeinträchtigt wird. Die Schwächung des Scalenlichtes, welche Kirchhoff und Bunsen (Poggendorff's Annalen, Band 113; 1861) empfehlen, darf selbstverständlich über eine gewisse Grenze, wenn die Scala deutlich bleiben soll, nicht hinausgeführt werden. Auch ist die Ablesung an der Scala für manches Auge anstrengend.

Hält man sich an den einen Rand unserer beweglichen Spalte, oder wählt man eine sehr feine lineare Spalte, so lässt sich am Gradbogen der Alhidade jede Stelle des Spectrums ebenso genau als bequem

In der Bezeichnung der Einzelstellen des Spectrums folge ich dem von Stokes und von Valentin [1]) gebrauchten Verfahren; $E\,21\,F$ z. B. heisst die Stelle des Spectrums, die um 21 Raumtheile von E, also 79 Raumtheile von F, entfernt ist, wenn der Abstand zwischen E und $F = 100$ gesezt wird.

Als »Normallicht« zur Beleuchtung der beweglichen Spalte dient mir eine Petroleumlampe mit circulärem Docht und einer kreisrunden Blendung von $6^2/_3$ Millim. Oeffnung. Die Herstellung einer Normalflamme, deren Lichtstärke nur minimale Schwankungen zeigt, ist bekanntlich mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Die Verwendung des Petroleumlichtes zu diesem Zwecke kann meiner Methode, als solcher, nicht zum Vorwurf gereichen, da dasselbe, wenn die Mittel dazu vorhanden sind, durch eine zuverlässigere Lichtquelle ersezt werden kann. Flammen von gewöhnlichen Lampen

---

bestimmen. Die Spalte verträgt, ohne undeutlich zu werden, eine sehr viel grössere Verdunkelung als die Zahlen der Scala; Verdunkelungen der Art beinträchtigen den Eindruck des äussersten Roth und Violett in keiner Weise. Man hat sich natürlich vor dem jedesmaligen Gebrauch des Instrumentes zu überzeugen, dass der rechte oder linke Rand der Spalte mit dem senkrechten Faden des Beobachtungsfernrohres und mit einer bestimmten Gradeinstellung der Alhidade, oder auch mit einer unveränderlichen Stelle des Spectrums zusammenfällt.

Der Schieber lässt sich leicht herausnehmen und mit einem von anderer Beschaffenheit, z. B. von engerer Spalte, vertauschen. Eine bestimmte Einstellung auf die Alhidadenscala entspricht unter allen Umständen, wenn der Schieber noch so oft hin- und herbewegt wird, auf's Genaueste einer bestimmten Verticallinie des Sehfeldes, z. B. dem verticalen Faden des Beobachtungsfernrohres. Die ganze Sehfeldbreite beträgt 35,2 Grade meiner Alhidade, wovon auf das gewöhnliche Spectrum etwas über die Hälfte kommt. Zehntelsgrade lassen sich mit vollkommener Sicherheit ablesen, so dass das gewöhnliche Spectrum in nahezu 200 Theile getheilt werden kann.

Mechanicus Albrecht hierselbst verfertigt die Alhidade um den Preis von 17 fl.

1) Der Gebrauch des Spectroscopes zu physiologischen und ärztlichen Zwecken. Leipzig 1863. S. 47.

zeigen Schwankungen ihrer optischen und, wie Bunsen und Roscoe [1]) hinzufügen, auch ihrer chemischen Helligkeit, welche die Genauigkeit der mit ihrer Hülfe gemachten Messungen beeinträchtigen. Die Anwendung von, durch den elastischen Strom glühend gemachten, Metalldrähten verwirft Bunsen ebenfalls und giebt Flammen, die durch einen Gasstrom von bestimmter constanter Geschwindigkeit gespeist werden, entschieden den Vorzug.

Wenn ich — wie ich häufig verfuhr — im Verlauf derselben Beobachtungsreihe wiederholt, etwa alle 10 Minuten, die Helligkeit einer und derselben Stelle des Spectrums messe und jedesmal dieselben oder nahezu dieselben Helligkeitswerthe erhalte, so liegt darin eine Bürgschaft, dass das von mir angewandte Normallicht den an ein solches zu stellenden Forderungen wirklich entspricht. Weitere Beweise für die Brauchbarkeit der Petroleumflamme als Normallicht s. §. 5.

Befindet sich vor der gehörig verschmälerten Spectroscopspalte eine Petroleumflamme von gleicher Helligkeit wie das Normallicht, so ist letzteres stark genug, um auf der Austrittsfläche des Prisma's ein Bild der beweglichen Spalte zu entwerfen, welches in jedem Bezirk des Petroleumflammenspectrums die Farben auslöscht. Im rothen, gelben und grünen Bezirk des Spectrums erscheint das Bild der beweglichen Spalte meinem Auge nahezu als weiss, indem gegenüber dem Contrast dieser reinen, gesättigten Farben der gelbe Farbeindruck des Normallichtes nicht aufkommen kann. Im Blau und Violet nimmt das Spaltenbild einen schwach gelblichen Anflug an, weil diese Spectralfarben gegenüber der Helligkeit der Spalte nur lichtschwach sind [2]).

1) Poggendorff's Annalen, Band 108, S. 194. 1859.

2) Lässt man das volle Petroleumlicht durch den ganzen Querschnitt des Scalenrohres einfallen, so ist das ganze Spectrum mässig starker, vor der Spectroscopspalte befindlichen Lichtquellen ausgelöscht und das Sehfeld erscheint von einem noch deutlicheren Gelb erleuchtet, weil der Contrast der gesättigten Spectralfarben wegfällt.

Reiner weiss erscheint das Bild der beweglichen Spalte, wenn das Petroleumlicht durch ein vorgehaltenes schwach bläuliches Glas modificirt wird. Da aber dadurch die Stärke des Normallichtes gemindert und somit der Messung intensiverer Helligkeitsgrade der Farben früher eine Grenze gesezt würde, so verzichtete ich auf die Anwendung des blauen Glases. Unser Zweck würde übrigens nicht beeinträchtigt, wenn das Bild der beweglichen Spalte irgend welchen deutlicheren Farbenton bieten würde [1]), da es sich ja immer nur darum handelt, den Eindruck des Normallichtes bis zu dem Punkt abzuschwächen, wo lezteres im Sehfeld anfängt, nicht mehr unterschieden werden zu können.

Bei vielen Lichtquellen ist der Eindruck des Gelb ein so grosser, dass derselbe nur eine sehr geringe Abschwächung des Normallichtes erfordert, um letzteres zum Verschwinden zu bringen; während im äussersten Roth und im Violett die Abschwächung sehr viel weiter gehen muss. Man hat also die Aufgabe: für jede Stelle des Spectrums die noch übrig bleibende Stärke des Normallichtes zu bestimmen, bei welcher das Bild der beweglichen Spalte eben verschwindet.

Zur Abschwächung des Normallichtes verwende ich Rauchgläser von genau ermittelter verdunkelnder Kraft, oder Zusammenstellungen solcher Gläser. Die starken Abschwächungen werden mittelst stark wirkender, die schwachen dagegen mit Hülfe entsprechend schwächerer Gläser hervorgebracht. Das Nähere s. im folgenden §. Die Anwendung dieser Gläser gestattet bloss sprungsweise zunehmende Verdunkelungen des Normallichtes. Je geringer die verdunkelnde Kraft des lezten der zugesezten Rauchgläser ist, welches die

---

1) Zum Studium der Farbenmischungen ist die durch entsprechende Farbengläser erzielte Anwendung farbiger Bilder der beweglichen Spalte sehr empfehlenswerth.

vorher nur noch sehwach sichtbare Normalflamme zum Verschwinden bringt, um so genauer fallen die Messungen natürlich aus. Da aber die verschiedenen Bezirke der meisten Spectren ganz enorme Verschiedenheiten der Lichtstärke zeigen — Verschiedenheiten, von denen unsere unmittelbare Sinnlichkeit gar keine Ahnung hat — so genügt die Anwendung starker successiver Abschwächungen, z. B. solcher um etwa je die Hälfte der gerade vorhandenen Stärke des Normallichtes, für viele Zwecke vollständig, überhaupt aber, auch bei den genauesten Bestimmungen, welche durch wiederholte Messung die Approximation so weit als möglich treiben, wenigstens zur ersten Orientirung. Schwäche ich z. B. das Spectrum einer Petroleumflamme mit einem Rauchglas von 0,603 verdunkelnder Kraft (das also 0,397 Licht durchlässt) ab, so brauche ich ein starkes Rauchglas, welches nur 0,029 Licht durchlässt, um das Weiss der beweglichen Spalte im hellsten Bezirk des Spectrums noch zu erkennen, während die Hinzufügung eines schwachen Glases (0,397) die Beimischung des Weiss aufhebt. Dagegen brauche ich im äussersten Violet nicht weniger als 3 starke (0,029) Rauchgläser, plus 1—2 schwachen (0,397) um diese beiden Punkte, die Ebenmerklichkeit und die Nichtmehrmerklichkeit des dem Violet beigemischten Weiss zu erhalten.

Eine vollkommen genaue Abstufung des Verhältnisses der Lichtstärken der Spectralfarbe und der Normalflamme erziele ich mittelst Veränderung der Breite der Eintrittsspalte des Lichtes. Während die Rauchgläser die Stärke des Normallichtes variiren, wird bei diesem Verfahren die Stärke der zu untersuchenden Lichtquelle abgeändert. In §. 5 werde ich zeigen, dass auf diesem Wege die genauesten photometrischen Bestimmungen möglich sind. Zu diesem Zweck muss die Breite der Eintrittsspalte unmittelbar am Apparat abgelesen werden können. Desshalb liess ich die Micrometerschraube, welche die verschiebbare Platte der Eintrittsspalte

bewegt, mit einer Trommel (von 45 Mill. Durchmesser) versehen, deren Umfang in 100 Theile getheilt ist. Die Höhe eines Schraubenganges beträgt 0,245 Mill., so dass noch der hundertste Theil dieses Werthes, also Abstufungen der Lichtstärken, die ziemlich geringer sind als diejenigen, um die es sich bei diesen Messungen handeln kann, bestimmt werden können.

Die Lichtstärke der verschiedenen Stellen eines und desselben Spectrums, sowie verschiedener Spectren verhält sich demnach (Gleichheit der Breite der Eintrittsspalte vorausgesezt) proportional der durch Rauchgläser abgeschwächten Lichtstärke der beweglichen Spalte, bei welcher das schwache Weiss der letzteren eben anfängt, ununterscheidbar zu werden, wo also, mit andern Worten, die auf das Spectrum projicirten Contouren der Spalte eben verschwinden.

Das Spectrum nimmt vom Roth bis zum äussersten Violett etwa 17 Spaltbreiten meiner beweglichen Spalte ein; um das ganze Spectrum zu untersuchen, muss also die Spalte 16mal fortgerückt werden. Das Normallicht hat selbstverständlich, durch kleine Verschiebungen der Petroleumlampe, den Bewegungen der Spalte genau zu folgen, um letztere immer mit demselben vollen Licht zu beleuchten.

Selbst die grösseren Spectralapparate sind gewöhnlich mit keinen Nebenvorrichtungen versehen, um alle Stellen des Spectrums abblenden zu können ausser diejenige, die gerade untersucht werden soll. Das Auge wird dadurch unnöthig angestrengt und die Lichtstärke der hellen Stellen erschwert durch ihren Contrast die Untersuchung der dunkleren. Ich liess in das Ocularrohr des Beobachtungsfernrohres — an der Stelle des Fadenkreuzes — eine Messingplatte von 110 Mill. Breite und 45 M.m. Höhe einfügen, die mit einem kreisförmigen Loch versehen ist, dessen Durchmesser demjenigen des

Ocularrohres gleichkommt. Auf dieser, mit 2 horizontalen Leisten versehenen, Platte lässt sich, mittelst einer Kurbel, eine andere rechteckige Platte in horizontaler Richtung verschieben, die mit einem gehörig grossen Ausschnitt versehen ist. Diese bewegliche Platte ist wiederum mit horizontal verlaufenden Leisten versehen, in welchen zwei mit der Hand verschiebbare Platten stecken, deren senkrechte Ränder einander beliebig genähert werden können. Das Spectrum lässt sich demnach abblenden bis auf eine verticale Spalte von irgend welcher Breite, während die Spalte selbst als Ganzes mittelst der Kurbel durch das ganze Sehfeld geführt werden kann.

Diese Abblendungsvorrichtung gestattet mir, wenigstens bei Spectren von keiner zu grossen Lichtstärke, die Beobachtung stundenlang fortzusezen; ich verspüre alsdann weder eine Ermüdung des Auges, noch ergeben die im späteren Verlauf der Beobachtungszeit wiederholten Messungen wesentliche Abweichungen von den anfänglich erhaltenen Resultaten. Eine genaue Messung der Lichtstärke der Farben ist natürlich nur dann möglich, wenn das Bild der beweglichen Spalte mit dem Bild der zu untersuchenden Farbe zusammenfällt. Mein linkes Auge, das ich zu diesen Beobachtungen ausschliesslich benüze, ist mit einer so guten Accommodationsfähigkeit begabt, dass ich das Spectrum untersuchen kann, ohne die Einstellung des Ocularrohres irgendwie verändern zu müssen [1]). Das Bild der beweglichen Spalte und das Farbenbild bringe ich vom Orange bis zum Violett zur befriedigenden Deckung. Bloss im Roth treten unter Umständen Ausnahmen ein und es ist eine bekannte Erfahrung, dass gerade diese Farbe Schwierigkeiten bereitet, wenn man sie

1) Meinem rechten Auge, das in geringem Grade kurzsichtig ist und auch an Sehschärfe dem anderen nachsteht, erscheinen die Spectralfarben — weil ich dasselbe niemals zu optischen und microscopischen Bobachtungen benuzen konnte — viel lebhafter und gesättigter.

mit entlegeneren Spectralfarben mischen will. Wegen dieses vorläufig nicht zu beseitigenden störenden Einflusses der Farbenzerstreuung zeigen wiederholte Messungen der Lichtstärke im Gebiete des Roth grössere Abweichungen als in den übrigen Spectralbezirken.

§. 4. Die Anwendung der Rauchgläser.

Die stufenweise Abschwächung der Lichtstärke des den Spectralfarben beizumischenden Normallichtes stelle ich, wie schon erwähnt, bequem und schnell mittelst einer Anzahl von Rauchgläsern her, welche das Licht der Normalflamme verdunkeln. Die schäzbare Eigenschaft dieser Gläser, die verschiedenen Farben eines gemischten Lichtes gleichmässig zu schwächen, so dass die relative Lichtstärke derselben nicht wesentlich alterirt wird, macht sie zu dem genannten Zwecke ganz vorzugsweise tauglich.

Seitdem die Rauchgläser aus Gründen, die ich wenigstens vom theoretischen Standpunkte aus nicht billigen möchte, in der augenärztlichen Praxis verworfen und den blauen Gläsern nachgesezt wurden, sind dieselben leider schwer zu beschaffen. Opticus Merz in München lieferte mir etwa ein Duzend solcher Gläser in Brillenform, den Rest seines Vorrathes, von denen das schwächste 0,603, das stärkste 0,138 des senkrecht auffallenden Lichtes durchlässt. Unseres unvergesslichen v. Gräfe's grosser Gefälligkeit verdankte ich zwei für meinen Zweck unschäzbare Rauchglasplatten, jede von etwa 60 Quadratzoll Oberfläche. Die eine, hellere, erwies in ihrem ganzen Bereich dieselbe verdunkelnde Kraft, sie lässt 0,397 Licht durch; die andere, dunklere, ist nicht überall gleich dick und wirkt durchschnittlich etwas schwächer als 4 der genannten schwachen Gläser zusammengenommen, indem sie 0,0289 Licht durchlässt. Aus diesen Platten wurde eine Anzahl kleinerer von etwa 4 Quadratzoll geschnitten

und der photometrisehe Werth jeder derselben in zahlreieh wiederholten Versuehen besonders bestimmt.

Diese Bestimmungen wurden naeh der Lambert-Rumford'sehen Methode ausgeführt. Ein rein-weisses Milchglas wurde von zwei Petroleumflammen von mögliehst gleicher Besehaffenheit erleuehtet. Jede Lampe stand in einem, innen mit mattsehwarzem Papier überzogenen Kästehen, dessen dem Milehglas zugewandte Seite mit einer Durehgangsöffnung für das Lieht versehen war. Die Liehter konnten über zwei auf dem sehr langen Tisehe befestigten Scalen, welehe mit dem Milehglas denselben Winkel bildeten, versehoben werden. Nach Herstellung der vollkommenen Gleiehheit der beiden Schatten des vor dem Milehglas befindliehen Stabes wurde vor dem Diaphragma der einen Lampe das zu prüfende Rauehglas befestigt, und dureh entspreehende Näherung des Lichtes wiederum die Gleichheit der beiden Schatten hergestellt. Sehr häufig, während jeder Versuehsreihe, wurden die Lampen auf die unveränderte Gleiehheit ihrer Liehtstärke geprüft, und etwa vorhandene kleine Helligkeitsuntersehiede beseitigt. Mein Auge erkennt an der, allerdings besonders günstige Bedingungen bietenden, Masson'sehen Seheibe noeh $\frac{1}{120}$ Liehtstärkeuntersehied.

In meinen Anfangsversuehen erhielt ieh keine genügenden Uebereinstimmungen bei den Messungen der verdunkelnden Kraft eines und desselben Rauehglases, weil ich, die betreffende Vorsehrift Rumford's ausser Aeht lassend, die Milehglastafel zu stark beleuehtete. Bei später angewandten geringeren Beleuehtungen stimmten die Einzelmessungen derartig miteinander, dass sie niehts zu wünsehen übrig liessen. Die Ausfüllung der Versuchszeit mit mögliehst zahlreichen Bestimmungen, auf die, einzeln genommen, weniger Sorgfalt verwendet wird, verdient, — so paradox es aueh erseheinen mag, — entsehieden den Vorzug vor einer geringeren Zahl von Bestimmungen, von denen jede einzelne längere Zeit in

Anspruch nimmt und demgemäss dem prüfenden Auge als vollkommen tadellos erscheint. Die Endmittel mehrerer nach dem ersteren Verfahren angestellten Versuchsreihen stimmen unter einander viel besser, als wenn man das zweite Verfahren befolgt. Sehr rathsam ist es, die Stärke des Vergleichschattens in der einen Hälfte der Versuche abnehmen, in der anderen dagegen zunehmen zu lassen, bis die Gleichheit mit dem Schatten des unbewegten Lichtes hergestellt ist. Auch muss, durch entsprechende Lampenabstände, die absolute Stärke der Beleuchtung in den einzelnen Versuchen gehörig variirt werden.

Die Zulage eines zweiten Rauchglases schwächt das, von dem ersten gleichstarken Rauchglase geschwächte Licht in demselben Verhältniss, in welchem das erste Rauchglas die ursprüngliche Lichtquelle schwächt. Es handelt sich also nur darum, die verdunkelnde Kraft jedes einzelnen Glases für sich in zahlreichen Versuchen zu bestimmen; die Wirkung der combinirten Gläser wird dann durch Rechnung gefunden. Ich begnügte mich übrigens bei meinen photometrischen Bestimmungen nicht mit der Untersuchung jedes Einzelglases für sich, sondern prüfte auch die Wirkung von 2, 3, 4 schwachen Gläsern zusammen. Ausserdem prüfte ich, indem beide Lichtquellen mit Rauchgläsern geschwächt wurden, die Wirkung eines Glases gegenüber 2 oder 3 combinirten Gläsern, und kam auf diesem mühsamen Wege zu Werthen, die sich gegenseitig controliren. Bei den starken Rauchgläsern kann ich zur Noth noch die Wirkung zweier zusammengenommen direct untersuchen; obschon hier die geringe Stärke und die Farbennuance des Schattens die Bestimmungen erschwert, so erhielt ich doch bei der directen Messung der verdunkelnden Kraft zweier starken Gläser Werthe, welche der berechneten Wirkung ziemlich nahe stehen. Für die Combinationen der schwachen gleichstarken Rauchgläser erhielt ich folgende

Werthe für das von denselben durchgelassene Licht, wobei die Stärke des ungeschwächten Lichtes = 1 gesezt wird.

Tab. I.

Zahl der Gläser:	Durchgelassenes Licht:
1	0,404 (Mittel aus 6 grösseren Versuchsreihen.)
2	0,160 (» « 5 » »)
3	0,060 (» » 5 » »)
4	0,025 (» » 5 » »)

Um mit obigen direct gefundenen Werthen die berechneten zu vergleichen, gehe ich aus von der Wirkung (0,404) eines einzigen Glases, und erhalte dann für die Combinationen die Werthe 0,163, 0,064 und 0,025. Da die an combinirten Gläsern angestellten Messungen denselben Grad von Zuverlässigkeit haben, wie die an jedem einzelnen Glase ausgeführten, so benütze ich auch jene zur Berechnung des photometrischen Mittelwerthes e i n e s Glases und erhalte:

Tab. II.

$$\frac{404}{1000} = 0{,}404$$

$$\frac{160}{404} = 0{,}395$$

$$\frac{60}{160} = 0{,}387$$

$$\frac{25}{60} = 0{,}403$$

Aus diesen 4 durch Beobachtung gefundenen Werthen berechnet sich im Endmittel die Wirkung eines einzigen schwachen Rauchglases auf 0,397, und daraus die Wirkung der Gläsercombinationen:

Tab. III.

Zahl der Gläser:		Abweichung von den direct gefundenen Werthen:
1	0,39700	— 0,00700 = $\frac{1}{3\,9}$
2	0,15761	— 0,00239 = $\frac{1}{6\,6}$
3	0,06257	+ 0,00257 = $\frac{1}{2\,3}$
4	0,02484	— 0,00016 = $\frac{1}{1\,3\,3}$

Die berechneten Werthe, weil sie aus sämmtlichen Versuchen abgeleitet sind, lege ich meinen photometrischen Bestimmungen zu Grunde.

Für die Combinationen der starken Rauchgläser ergaben sich folgende Werthe; der erste ist direct gefunden, der zweite (berechnete) steht dem direct gefundenen ziemlich nahe; die übrigen sind berechnet.

1	starkes Rauchglas	0,02896
2	starke Rauchgläser	0,0008386
3	» »	0,0000243
4	» »	0,0000070.

Indem wir 0—4 schwache Rauchgläser mit 0—3 starken Gläsern combiniren, ergeben sich die nachfolgenden 21 relativen Lichtstärken, welche meiner Normalflamme gegeben werden können. Ausserdem kann ein schwächstes Rauchglas, welches das Licht bloss auf 0,57836 mindert, mit jeder dieser Combinationen verbunden werden, so dass die Normalflamme 41 Intensitätswerthe annehmen kann. Mehr als 3 starke Rauchgläser machen die Normalflamme so schwach, dass die Messungen nur dann ausgeführt werden können, wenn ein Gehülfe die Manipulationen besorgt, und der Experimentator den Anblick von stärkerem fremdem Licht in der Zwischenzeit zwischen den Beobachtungen vollkommen meidet.

Tab. IV.

Intensität des Normallichtes bei den verschiedenen Rauchgläsercombinationen.

	0 starkes Rauchglas	1 starkes Rauchglas	2 starke Rauchgläser	3 starke Rauchgläser	4 starke Rauchgläser
0 schwaches Rauchglas	10.000.000	289.600	8386	243	7
1 schwächstes »	5.783.600	167.490	4851	140	
1 schwaches »	3.970.000	114.900	3329	96	
1 schwaches + 1 schwächstes	2.296.100	66.490	1926	56	
2 schwache	1.576.100	45.600	1322	38	

	0 starkes Rauchglas	1 starkes Rauchglas	2 starke Rauchgläser	3 starke Rauchgläser	4 starke Rauchgläser
2 schwache + 1 schwächstes	911.500	26.390	764	22	
3 schwache	625.700	18.120	525	15	
3 schwache + 1 schwächstes	361.800	10.480	303	8,8	
4 schwache	248.400	7190	208	6	
4 schwache + 1 schwächstes	143.600	4160	120	3,5	

Ein Stativ mit 3 horizontalen Armen dient als Träger der mit Stielen und passenden Fassungen versehenen Rauchgläser. Der eine Arm ist die Axe, um welche die Stiele der Rauchgläser sich drehen, der zweite Arm unterstützt die vor die Normalflamme gebrachten Gläser am Stiele ihrer Fassung, der dritte dient als Unterlage für die jeweils nicht gebrauchten Gläser. Jede beliebige Combination der Rauchgläser kann mittelst dieser Vorrichtung schnell hergestellt werden.

Meine schwachen Rauchgläser erscheinen gegen eine graue Wolke gehalten bloss grauer, als der übrige Hintergrund, während ein starkes Rauchglas unter diesen Umständen einen minimalen bläulichen Anflug mir zu zeigen scheint. Dieser Anflug rührt aber schwerlich von einer im Glas befindlichen gefärbten Substanz her; mein geehrter College Reusch hatte die Gefälligkeit, ein solches Glas keilförmig zu schleifen, dessen dünnere Stellen sich absolut farblos erwiesen.

Schwäche ich das Spectrum einer hinreichend starken Lichtquelle durch ein vor die Eintrittsspalte des Spectralapparates gebrachtes Rauchglas ab, so muss auch das Licht der Normalflamme um denselben Betrag, d. h. durch ein gleichstarkes Rauchglas geschwächt werden, um wiederum das den Spectralfarben beigemischte Normallicht auf den Punkt der Nichtmerklichkeit zurückzuführen. Diese Erscheinung wiederholt sich nicht bloss in jedem einzelnen Spectralbezirk, sondern auch bei sehr verschiedenen, durch Rauchgläser hergestellten Helligkeitsgraden eines und desselben Spectralbe-

zirkes, wie die Versuchsreihen des §. 11 zeigen, in welchen die Lichtstärke des Spectrums des Sonnenlichtes bei den verschiedensten, durch Rauchgläser herstellbaren Helligkeitsgraden gemessen wurde. Damit ist aber auch der Beweis geliefert, dass die Einzelfarben durch die Rauchgläser vollständig gleichmässig abgeschwächt werden.

In öfters wiederholten Prüfungen schwächte ich das volle Spectrum nicht durch ein Rauchglas, oder das durch Rauchgläser bereits abgeschwächte Spectrum durch ein weiter zugelegtes Rauchglas ab, sondern mittelst einer der Lichtschwächung des Rauchglases entsprechenden Verschmälerung der Eintrittsspalte. In beiden Fällen war die photometrisch gemessene Lichtstärke des Spectralbezirkes dieselbe, zum weiteren Beweise, dass das Rauchglas die verschiedenen Farben gleichmässig abschwächt.

Zur Entscheidung der Frage, ob (nicht-gefärbte) Gläser die Einzelfarben eines gemischten Lichtes gleichmässig durchlassen, resp. abschwächen, können auch die gewöhnlichen photometrischen Methoden z. B. die Rumford'sche benüzt werden. Die Zahlen der Tab. I—IV beweisen unmittelbar, dass unsere Rauchgläser die verschiedenen Farben des Lichtes der Petroleumflamme gleichmässig abschwächen. In einem aus 2 Farben gemischten Lichte sei A und B die Intensität beider Farben und c die lichtschwächende Kraft eines Glases. Werden beide Farben durch das Glas gleichmässig geschwächt, so hat man für 2, 3 u. s. w. solcher Gläser die nachfolgenden Lichtstärken:

0 Glas $\frac{A + B}{c^0} = I.$

1 Glas $\frac{A + B}{c^1}$ II.

2 Gläser $\frac{A + B}{c^2}$ III.

n Gläser $\frac{A + B}{c^n}$

Die Totallichtstärke nimmt hier in demselben Verhältniss ab, wie die Lichtstärke der Einzelfarben und es verhält sich I : II = II : III etc. Ganz anders gestaltet sich die durch successiv neu hinzugefügte Gläser hervorgebrachte Abminderung der Gesammtlichtstärke, wenn ein solches Glas die Einzelfarben nicht gleichmässig schwächt. Sei A die Lichtstärke der einen Farbe und c deren Schwächung durch ein Glas, B die Lichtstärke der anderen Farbe und d deren Schwächung durch dasselbe Glas, so hat man bei den verschiedenen Gläsercombinationen folgende Gesammtlichtstärken:

$$0 \text{ Glas} = \frac{A}{c^0} + \frac{B}{d^0} = \text{I.}$$

$$1 \text{ Glas} \quad \frac{A}{c^1} + \frac{B}{d^1} = \text{II.}$$

$$2 \text{ Gläser} \quad \frac{A}{c^2} + \frac{B}{d^2} = \text{III.}$$

$$n \text{ Gläser} \quad \frac{A}{c^n} + \frac{B}{d^n}$$

In diesem Fall besteht nicht mehr das Verhältniss I : II = II : III, woraus hervorgeht, dass einem solchen Glas die Fähigkeit nicht zukommt, die Einzelfarben des gemischten Lichtes gleichmäsig abzuschwächen.

§. 5. Experimentalkritik der Leistungsfähigkeit des Auges für die Farbenphotometrie.

Bei meiner photometrischen Methode handelt es sich im Wesentlichen um die richtige Bestimmung des Punktes, wo das, der Spectralfarbe beigemischte und stufenweise auf eine bestimmte Lichtstärke abgeminderte, Weiss der Normalflamme eben anfängt, im Spectrum unmerklich zu werden. Wer keine Erfahrungen besitzt auf diesem Gebiet, könnte zu der Vermuthung geneigt sein, dass dieser Punkt schwierig und nur ganz beiläufig zu finden sei. Ich werde zeigen, dass der fragliche Punkt nicht bloss genau, sondern auch schnell und leicht gefunden werden kann.

Handelt es sich um rasch auszuführende und während der Beobachtungszeit über das ganze Spectrum auszudehnende Messungen — eine Aufgabe, auf welche ich mich fast in allen meinen Versuchen beschränkte und die vorerst hinreicht, um einen befriedigenden Ueberblick über das Gebiet zu gewinnen — so genügt die Zulage eines weiteren schwachen Rauchglases, um das stark abgeminderte, aber noch merkliche Weiss der Normalflamme im spectralen Sehfeld unmerklich zu machen.

Da die Intensitäten der Farben den Lichtstärken proportional sind, bei welchen das, den Farben hinzugefügte, Weiss der Normalflamme unmerklich wird, so findet das relative Intensitätsmaass jeder Farbe seinen annähernden Ausdruck durch diejenige Lichtstärke, welche die Normalflamme noch hat, eben nach der, die genannte Wirkung hervorbringenden Zulage eines weiteren schwachen Rauchglases. Dieses Glas schwächt aber das vorher noch merkliche Weiss auf $\frac{4}{10}$ (genauer 0,397) seiner früheren Lichtstärke ab.

Das Rauchglas leistet in diesem Fall, da es die Empfindung schon in das Gebiet des Unmerklichen hinüberführt, zu viel; desshalb nehme ich das Mittel derjenigen beiden Lichtstärken der Normalflamme, bei welchen das Weiss der letzteren einerseits noch merklich ist und andererseits verschwindet. Nach diesem Verfahren ist bei diesen approximativen Bestimmungen die Lichtstärke, ausgedrückt in unsern Einheiten, durchschnittlich mit einem Fehler von etwa $\frac{1}{5}$ behaftet.

Die Ebenmerklichkeit des durch eine bestimmte Anzahl Rauchgläser abgeschwächten Weiss der Normalflamme zeigt aber verschiedene Deutlichkeitsgrade; dasselbe ist sogar der Fall mit der Unmerklichkeit, so wenig diese in unser Bewusstsein fällt. Eine relativ grosse Ebenmerklichkeit wird desshalb durch ein weiter hinzugefügtes schwaches Rauchglas in eine geringe Unmerklichkeit hinübergeführt u. s. w. Auch stellt unser Sinn bekanntlich keinen absolut constanten Apparat dar, obschon die anhaltende Bschäftigung des Geübten eine

immer grössere Constanz in der That erzielt. Ist z. B. bei einer bestimmten Abschwächung der Normalflamme die Ebenmerklichkeit des Weiss eine sehr geringe, so kommen, wenn man, unter anscheinend genau gleichbleibenden Nebenbedingungen, die Beobachtung vielfach wiederholt, mehr oder weniger zahlreiche Fälle von wirklicher Unmerklichkeit eben dieses Weiss vor. Wir müssen desshalb die verschiedenen Merklichkeitsgrade, welche das Weiss der Normalflamme im Bereich der Spectralfarbe hat, von welchen die Genauigkeit der Methode wesentlich abhängt, experimentell näher prüfen.

Zu diesem Zwecke standen mir keine schwachen Rauchgläser, welche erheblich mehr als $\frac{4}{10}$ Licht durchlassen, zu Gebot. Unsere Absicht wird aber, und zwar auf viel genauere Weise, dadurch erreicht, dass bei constanter Lichtstärke der Normalflamme die Intensität des Spectrallichtes durch entsprechende Veränderungen der Weite der Eintrittsspalte des Lichtes veränderlich gemacht wird. Zu Versuchen der Art muss die Schraube, welche die Spaltweite regulirt, mit der Seite 15 erwähnten graduirten Trommel versehen sein, an welcher sich die jedesmalige Spaltweite unmittelbar ablesen lässt. Innerhalb der verhältnissmässig geringen Variationen der Spaltweite, die bei den nachfolgenden Versuchen überhaupt in Frage kommen, darf die Intensität des Lichtes als der Spaltweite proportional angesehen werden.

Die nachfolgenden Versuche wurden am Spectrum einer Petroleumflamme angestellt, deren Lichtstärke derjenigen der Normalflamme genau gleich war. Die Eintrittsspalte des Lichts war durch kein Rauchglas verdunkelt; die Flamme stand 38 Millim. von der Spalte entfernt. Die Normalflamme hatte einen Abstand von 62 Millim. von der beweglichen Spalte. Die an dem Schraubenkopf der Eintrittsspalte befindliche Trommel ist in 100° getheilt; experimentirt wurde zwischen 51° bis 160°, also innerhalb des Bereiches eines und zweier Schraubengänge. Bei 51° beträgt die Spaltweite 0,131 Millim. und

war das Weiss der beweglichen Spalte sehr merklich; bei 160° (0,411 Millim. Spaltweite) war das Weiss der beweglichen Spalte unter allen Umständen in dem untersuchten Spectralbezirk unmerklich. Die Lichtstärke der Spectralfarbe variirt also in diesen Versuchen um das Dreifache.

Ein Assistent gab der Spalte irgend welche, innerhalb der oben bezeichneten Grenzen liegende Breite, worauf ich — ohne die letztere zu kennen — ein Urtheil abgab über die Merklichkeit oder Nichtmerklichkeit des Weiss der Normalflamme. Die Versuche der nachfolgenden Tabelle betreffen diejenige Stelle im Orange und Gelb des Petroleumspectrums, welche dem Bezirk C 76 D bis D entspricht. Sie ist (s. Tabelle 37. §. 15) der lichtstärkste Bezirk im Spectrum der Petroleumflamme. Das übrige Spectrum wurde durch den Seite 16 beschriebenen Schieber verdeckt.

Die verschiedenen Spaltweiten sind in der nachfolgenden Tabelle in 11 (um je 10 Grade d. h. 0,0257 Millim. fortschreitende Rubriken gebracht. Jede Rubrik enthält 20 Versuche. Die Urtheile sind entweder positiv, d. h. das weisse Bild der beweglichen Spalte wird in der Spectralfarbe noch wahrgenommen, oder negativ, wenn die bewegliche Spalte unmerklich geworden ist.

Tabelle V.

Spaltbreite resp. Lichtstärke	Urtheil	
	positiv	negativ
51°— 60°	20	—
61 — 70	20	—
71 — 80	15	5
81 — 90	13	7
91 —100	9	11
101 —110	7	13
111 —120	1	19
121 —130	1	19
131 —140	—	20
141 —150	—	20
151°—160°	—	20

Diese Versuchsreihe, welche eine absolute Voraussetzungslosigkeit des Beobachters in sich schliesst, zeigt, dass zwei in unsern Lichteinheiten ausgedrückten Werthe, die sich wie 65 (61—70) [1]) zu 135 (131—140) also nahezu wie 1 : 2 verhalten, unter allen Umständen von einander unterschieden werden. Diese Differenz (10 : 5) ist merklich geringer als die durch eines meiner schwachen Rauchgläser (10 : 4) bedingte. Ausserdem ergiebt sich, dass auch bei einer Spaltweite von 115° (111—120°) so gut wie alle Empfindungen dem Gebiet des Unmerklichen angehören. Demnach schwankt das Gebiet, wo sich die positiven und negativen Empfindungen streitig machen, innerhalb der ziemlich engen Grenze von 70°—110°, also zwischen Lichtstärken, die sich verhalten wie 1 zu nahezu $1\frac{1}{2}$. Ferner nehmen mit zunehmender Spaltweite, von 71° an, die positiven Empfindungen ab, die negativen zu; zwischen 91°—100° ist die Zahl der positiven derjenigen der negativen am nächsten; während bei noch grösserer Spaltweite die positiven Urtheile immer mehr abnehmen und bald ganz verschwinden. Die wirkliche Grenze zwischen Merklichkeit und Unmerklichkeit liegt demnach bei einer Spaltweite von etwa 92°. Dieser Grenzpunkt kann durch verhältnissmässig wenige Versuche ziemlich schnell gefunden werden. Experimentirt man, indem die Spaltweite nur in der Nähe dieses Punktes variabel gemacht wird, also etwa zwischen 81°—110°, so reichen ungefähr 30—40 Versuche hin, um die Messung der Lichtstärke bis auf einige Procente des wahren Werthes sicher zu stellen.

Die Versuche der Tabelle 5 zeigten keine merkliche Bevorzugung der Ergebnisse in irgend einer Phase der ganzen Versuchszeit. Letztere nahm wenig über 2 Stunden in Anspruch, so dass auf eine Beobachtung (im Ganzen sind es 220) sammt der nothwendigen Aufzeichnung wenig über $\frac{1}{2}$ Minute

1) Der aus den 20 Versuchen berechnete Mittelwerth zwischen 61° und 70° betrug genau 65°; für die übrigen Mittelwerthe wird immer 75°, 85°, 95° u. s. w. als sehr annähernde Durchschnittszahl gesetzt.

verwendet wurde. Bei grösserer Langsamkeit des Verfahrens dürften die Fehler noch etwas verringert werden; dabei hätte man nicht etwa die eigentliche Beobachtungszeit (die möglichst kurz sein soll, um das Auge zu schonen), sondern die Ruhepausen zwischen den Beobachtungen zu verlängern. Das ganze Versuchsergebniss legt aber auch für eine hinlängliche Constanz meiner beiden Petroleumlichter während der Beobachtungsdauer Zeugniss ab.

Die positiven Empfindungen des der Spectralfarbe beigemischten Weiss bezeichnete ich bei den Spaltweiten zwischen 50° und etwa 70° fast ausnahmslos als »sehr deutlich«; bei zunehmend grösseren Spaltweiten bezeichnete ich sie in der Regel der Reihe nach: deutlich — schwach — sehr schwach — kaum merklich; diese Urtheile erwiesen sich grossentheils als richtig. Nicht zufrieden mit solchen annähernden, qualitativen Bestimmungen der Deutlichkeitsgrade setzte ich mir im späteren Verlauf der Versuchsreihe die Aufgabe, auch die mir unbekannte Spaltweite in Graden zu taxiren, da schon vorher, unmittelbar nach jedem von mir abgegebenen Urtheile, der Assistent die wirkliche Spaltweite behufs der Aufzeichnung derselben, in Graden angegeben hatte. Diese in Zahlenwerthen von mir abgegebenen Urtheile verdienen wohl hier mitgetheilt zu werden.

Tabelle VI.

Wirkliche Spaltweite im Mittel		Von mir taxirte Spaltweite (im Mittel)	Zahl der Urtheile
51°— 60°	55°	62°	5
61 — 70	66	64	6
71 — 80	75	88	6
81 — 90	86	86	5
91 —100	95	95	5
101 —110	105	103	8
111°—120°	116°	120°	7

Wirkliche Spaltweite	im Mittel	Von mir taxirte Spaltweite (im Mittel)	Zahl der Urtheile
121°—130°	125°	117°	7
131 —140	135	130	7
141 —150	145	120	7
151°—160°	156°	134°	8

Die Zahlen der obigen Tabelle zeigen, was übrigens selbstverständlich ist, dass die numerischen Schäzungen im Gebiete der positiven Empfindungen, wo also die Beimischung des Weiss zur Spectralfarbe noch erkannt wird, durchschnittlich exacter ausfallen als im Gebiete der negativen Empfindungen [1]).

Zur weiteren Controle der bezüglichen Leistungen des Farbensinns wählte ich eine andere Farbe, den Bezirk F 13 G — F 26 G im Blau der Petroleumflamme, dessen Lichtstärke über 70 mal geringer ist. Alle sonstigen Bedingungen sind dieselben wie in den eben erörterten Messungen. Die Lichtstärke der Spectralflamme variirte zwischen 85° und 195°, also etwas mehr als um's doppelte. Jede Versuchsreihe (horizontale Columnen der folgenden Tabelle) besteht wiederum aus 20 Versuchen und hatte die Eintrittsspalte bei den Einzelversuchen jeder horizontalen Reihe immer dieselbe Weite: 85° = 0,218 Millim., 95° = 0,244 Millim. u. s. w. Die 240 Einzelbestimmungen wurden noch schneller ausgeführt, als in den Versuchen der Tab. 5; sie nahmen bloss 1 Stunde 35 Minuten in Anspruch; so dass auf eine Bestimmung, sammt der für die Einzeichnung derselben und die Erholung des Auges

1) Der Bezirk der Entscheidungen »unmerklich« gehört den grösseren Lichtstärken an. Obschon diese, als solche, in den meisten Fällen nicht erkannt werden, so wäre doch der Einwurf denkbar, dass bei der Unmerklichkeit des Weiss unwillkürlich nicht etwa die negative Empfindung selbst, sondern die Erkennung der grösseren Lichtstärke den Ausschlag geben könnte; desshalb habe ich in vielen Einzelfällen dieser und der nächstfolgenden Versuchsreihe das Gesammtlicht durch ein vor das Auge gehaltenes schwaches Rauchglas auf $^4/_{10}$ abgeschwächt.

nöthigen Zeit, nicht ganz $\frac{4}{10}$ Minute kommt. Die erste Verticalcolumne giebt die relative Lichtstärke des spectralen Blau in, der Weite der Eintrittsspalte proportionalen (an der Trommel der Spaltenschraube abgelesenen Grad-) Werthen. Die zweite Verticalcolumne drückt die Steigerung der Lichtintensität im Verhältniss zur nächstniederen Lichtstärke (die jedesmal = 1 gesetzt ist) aus. Die Ueberschriften der beiden letzten Verticalcolumnen sind denen der Tabelle 5 analog.

Tabelle VII.

Spaltbreite, resp. relative Lichtstärke	Relative Zunahme der Lichtstärke der Spectralfarbe.	Urtheile	
		positiv	negativ
85°	—	20	—
95	+ 0,117	18	2
105	+ 0,105	12	8
115	+ 0,095	10	10
125	+ 0,087	8	12
135	+ 0,080	4	16
145	+ 0,074	3	17
155	+ 0,069	3	17
165	+ 0,064	2	18
175	+ 0,060	1	19
185	+ 0,057	—	20
195°	+ 0,054	—	20

Das dem spectralen Blau beigemischte Weiss wurde demnach ohne Ausnahme richtig erkannt bei 85° relativer Lichtstärke der Farbe; während andrerseits, bei 185° Lichtstärke des Blau, kein Fall mehr vorhanden ist, wo das (gleichstark gebliebene) Weiss noch wahrgenommen wurde. Dieses Verhältniss 85 : 185 (= 1 : 2,18) entspricht nahezu dem beim Gelb erhaltenen von 65 : 135 (= 1 : 2,08). Das Gebiet, wo die positiven und negativen Empfindungen sich streitig machen, ist etwas breiter, als im Roth, nämlich zwischen der Licht-

stärke 1 : 1,7, während für Roth 1 : 1,5 gefunden wurde. Eine grössere Anzahl von Versuchen dürfte wohl diese kleine Ungleichkeit aufheben.

Das Gebiet, wo die positiven und negativen Urtheile in gleicher Zahl vorkommen, gehört in Tabelle 5 der Lichtstärke 115° an; hier liegt also der wahre Grenzpunkt zwischen Merklichkeit und Unmerklichkeit, demnach auch der genaue photometrische Werth der Farbe. Die Lichtstärke der blauen Spectralfarbe, bei welcher das beigemischte Weiss immer richtig erkannt wird, verhält sich zur Lichtstärke des eben betrachteten Grenzpunktes etwa wie 85 : 115 = 1 : 1,35, während bei Gelb sich das Verhältniss 65 : etwa 95 = 1 : 1,46 ergiebt und selbst diese kleine Abweichung nicht in Betracht kommen kann, da bei 95° Lichtstärke (s. Tab. 5) mit 9 positiven und 11 negativen Urtheilen der in Rede stehende Grenzpunkt schon ein wenig überschritten ist.

Handelt es sich also um vollständige Exactheit einer photometrischen Farbenbestimmung, so genügt eine mässige, etwa in $\frac{1}{4}$ Stunde zu gewinnende, Zahl von Einzelbestimmungen, um jenen Grenzpunkt, durch Variation der Lichtstärke der zu messenden Farbe, mittelst kleiner Veränderungen der Weite der Eintrittsspalte des Spectralapparates (während das auf auf die erforderliche Stärke abgeminderte Weiss der Normalflamme constant bleibt) zu bestimmen. Das Auge des nur einigermaassen geübten Beobachters begeht demnach bei unserer Aufgabe Fehler, die sicherlich viel kleiner sind als diejenigen, welche die wechselnde Intensität des Normallichtes in die photometrischen Bestimmungen einführt.

Die obigen Erfahrungen zeigen aber auch, dass das von mir angewandte »schwache« Rauchglas eine Abstufung der Lichtstärke der Normalflamme bedingt, welche bei auch nur einiger Vorsicht immer bemerkt werden, d. h. das schwach merkliche Weiss unmerklich machen muss. Auch ist die durch das Rauchglas bewirkte Abstufung auf der andern Seite

nicht so stark, um den mittelst desselben gewonnenen photometrischen Werthen die Bedeutung einer, wenigstens für ein erstes Eindringen in dieses Gebiet genügenden Approximation zu entziehen. Die beiden Versuchsreihen der Tabellen 5 und 7 beweisen zunächst bloss, dass während derselben Versuchsstunde die Empfindlichkeit meiner Augen sich wirklich gleich bleibt und dass auch keine störenden Helligkeitsschwankungen beider Petroleumlichter während dieses Zeitraums angenommen werden können; ausserdem beweisen sie, dass die Qualität und Lichtstärke der Farben keinen erkennbaren Einfluss auf die Genauigkeit meiner Empfindungen ausübt.

Die Empfindlichkeit meines Auges und die Lichtstärke einer oder beider Petroleumflammen könnte aber von einem Tag zum andern oder doch in grösseren Perioden erhebliche Schwankungen bieten. Diese Vermuthung wird vollständig beseitigt durch die nachfolgende Versuchsreihe, welche an demselben Bezirk wie die Versuche der Tabelle 5, an C 76 D—D, unter genau denselben Nebenbedingungen, angestellt wurden. Zwischen den früheren Versuchen und den jetzt zu besprechenden lag ein Zeitraum von 14 Tagen, in welchen ich überhaupt keine Spectralbeobachtungen anstellte. Die Beobachtungen nahmen zusammen bloss 65 Minuten in Anspruch, so dass auf eine einzige nicht vollständig $\frac{1}{3}$ Minute kommt. Bei dieser absichtlich gewählten Hurtigkeit der Operationen (die ich nicht wohl noch weiter steigern könnte) dürfte es kaum vermeidlich sein, dass im Verlauf von 220 schnell auf einander folgenden Beobachtungen, welche die Unterscheidungsempfindlichkeit zum Theil auf eine harte Probe stellen, auch das geübteste Auge wenigstens einige Nachlässigkeitsfehler begeht.

Tabelle VIII.

Spaltbreite, resp. Lichtstärke [1]	Urtheil	
	positiv	negativ
55°	20	—
65°	19	1
75°	16	4
85°	13	7
95°	11	9
105°	7	13
115°	4	16
125°	1	19
135°	1	19
145°	—	20
155°	—	20

Auch hier liegt der Punkt, wo ungefähr gleich viele positive und negative Entscheidungen vorkommen, also der wahre Grenzpunkt, um den es sich bei unsern Bestimmungen handelt, bei 95°. Die Zahlen weichen von denen der Tab. 5 grösstentheils so wenig ab, dass die Uebereinstimmung kaum besser gewünscht werden könnte.

§. 6. Maassobjekt und Grenzen der Farbenphotometrie.

Meine Methode misst nicht etwa die Lichtempfindungen, sondern die objectiven Lichtstärken selbst. Gegenstand der Messung ist diejenige Intensität des Normallichtes, bei welcher letzteres, vermischt mit dem zu messenden farbigen Licht, eben verschwindet. Man hat also durch stufenweise Abschwächung des Normallichtes, oder durch allmälige Verstärkung der Intensität der zu messenden Farbe, oder

1) Die Eintrittsspalte wurde immer auf 55° – 65° – 75° u. s. w. Grade eingestellt.

durch beide Hülfsmittel zugleich, ein solches Verhältniss der Lichtstärken des Normallichtes n und des farbigen Lichtes l herzustellen, dass der von $n + l$ zugleich erleuchtete Theil eines und desselben Spectralbezirkes nicht mehr unterschieden werden kann von dem andern, durch l allein erleuchteten Theil.

Zur Bestimmung der relativen Werthe von l, um deren Messung es sich schliesslich handelt, ist die Kenntniss des wirklichen Verhältnisses von $\frac{n}{l}$ nicht unumgänglich erforderlich. Ich selbst kann vorerst hierüber keine Auskunft geben, so sehr ich mich auch bemühte, ein Verfahren ausfindig zu machen, um am Spectralapparat selbst diesen Werth bestimmen zu können. Bekanntlich ist n sehr klein gegenüber von l.

Wenn das Verhältniss $\frac{n}{l}$ gleich bleibt bei verschiedenen absoluten Lichtstärken, so sind die relativen Intensitäten von n auch zugleich die Maasse der relativen Intensitäten der einzelnen Farben. Die Constanz von $\frac{n}{l}$, innerhalb einer hinlänglichen Breite der absoluten Lichtstärke geht aus meinen zahlreichen Erfahrungen auf das Deutlichste hervor. Da für mässigere Helligkeitsschwankungen die Constanz keines Beweises bedarf, so haben wir uns auf Lichtstärken von sehr grossen Unterschieden zu beschränken.

Im grünblauen Bezirke (E 42 F — E 70 F) des durch kein Rauchglas geschwächten Spectrums einer Petroleumflamme musste das Normallicht durch 1 starkes und 2 schwache Rauchgläser abgeschwächt und die Eintrittsspalte für das Licht von 100° auf 95° verkleinert werden, um den Punkt der Ebenmerklichkeit des Normallichtes zu erreichen. Die Lichtstärke dieses Grün ist = 45.600 Einheiten.

Wurde das Spectrum durch ein starkes Rauchglas auf 0,029 abgemindert, so musste, um jenen Punkt zu erreichen, das Normallicht mittelst 2 starken und 2 schwachen Rauch-

gläser geschwächt und die Spaltweite auf 93° gebracht werden. Die Lichtstärke entspricht 1322 Einheiten; die kleine Differenz der Spaltweite erfordert eine unwesentliche Correctur, so dass die wirkliche Lichtstärke = 1333 beträgt.

Wurde endlich das Spectrum durch 2 starke Rauchgläser auf 0,00083 geschwächt, so waren 3 starke und 1 schwaches Rauchglas nöthig, bei einer Spaltweite von 80°, um das Normallicht in dem lichtschwachen Farbenfeld zum Verschwinden zu bringen. Die Lichtstärke des Normallichtes (bei 95° Spaltweite) würde 96 Einheiten entsprechen; für 80° Spaltweite erhalten wir 114 Einheiten.

Demnach verhalten sich in diesen 3 Bestimmungen die relativen Werthe von n und l folgendermaasen:

	Lichtstärke der Normalflamme A.	Lichtstärke des Spectrums B.
a)	45600 (= 100000)	100000 × 95 = 9500000 (= 100000)
b)	1322 (= 2899)	2896 × 93 = 269328 (= 2835)
c)	96 (= 210)	83 × 80 = 6640 (= 70)

Die Abminderung der relativen Lichtstärke 1 der Spectralfarbe auf 0,0283 erfordert also dieselbe Abminderung des Normallichtes (auf 0,0289); wogegen die Abminderung des Spectrallichtes auf 0,0007 eine Schwächung des Normallichtes bloss auf 0,0021 verträgt. Letzteres aus begreiflichen Gründen; das auf den genannten Betrag abgeschwächte Normallicht ist nämlich so undeutlich, dass es für sich allein nur nach einer gewissen Adaption des Auges wahrgenommen werden kann. Wird also eine Spectralfarbe sehr bedeutend geschwächt, so verträgt das Normallicht, um zu photometrischen Zwecken verwendet werden zu können, keine entsprechende Minderung; die Stärke des Normallichts ist nunmehr kein richtiger Ausdruck der relativen Intensität der Spectralfarbe. Desshalb sind die, in einigen Tabellen dieses Werkes verzeichneten Lichtstärken sehr dunkler Farben (etwa von 300 unserer Lichteinheiten an nach abwärts) zu hoch. Unsere Maassmethode

lässt sich aber innerhalb einer enormen Breite grösserer Helligkeiten mit voller Sicherheit anwenden, so dass ihre Unsicherheit unterhalb einer gewissen unteren Grenze der Lichtstärke nicht in Betracht kommen kann. Uebrigens könnten selbst die geringsten Lichtstärken der Messung noch zugänglich gemacht werden, wenn man das, unserem Verfahren zu Grunde liegende, Verhältniss zwischen Normallicht und farbigem Licht umkehrt, d. h. ersteres stärker und letzteres schwächer nimmt; man hätte dann diejenige minimale Stärke des farbigen Lichtes zu bestimmen, welche, vermischt mit dem auf eine bestimmte Intensität gebrachten Weiss des Normallichtes, dem letzteren einen eben merklichen Farbenanflug ertheilt.

Die optisch-einfachen Farben erscheinen dem Auge als die reinsten; gleichwohl mischt sich der Empfindung, und zwar bei jeder Beleuchtungsstärke, ein Antheil von subjectivem Weiss hinzu. Selbst die von einer äusserst lichtschwachen Farbe hervorgerufene Farbenempfindung enthält einen verhältnissmässig grossen Antheil von Weiss; das farbige Licht lässt sich in der That, nachdem es, bei einer gewissen Abschwächung, seinen Farbenton für unser Auge verloren hat, noch stärker abschwächen, ohne die Fähigkeit zu verlieren, wenigstens einen indifferenten Lichteindruck, d. h. die Empfindung eines äusserst schwachen Grau, zu erregen. Sehr lichtstarke Farben andererseits veranlassen, mit zunehmender objectiver Intensität, zwar eine entsprechende Steigerung des gesammten Helligkeitseindruckes, aber eine relative Minderung der Sättigung der Farbe: die Farbe erscheint zunehmend stärker weiss und von schwächerem Farbenton.

Aus beiden Erfahrungen dürfen wir wohl schliessen, dass jeder Farbenempfindung, die Stärke des objectiven homogenen Lichtes möge sein, welche sie wolle, ein verhältnissmässig bedeutender Antheil von in die Empfindung mit unterlaufendem Weiss beigemischt sei. Unsere photometrische Methode, als objective, misst offenbar die Gesammtlichtstärke, d. h. die

Liehtmengen zusammengenommen, welche einerseits eine Farbenempfindung von bestimmter Stärke, und andererseits die Empfindung von Weiss erregen. Die Bestimmung des Antheiles an subjeetivem Weiss, weleher sich den Empfindungen der optiseh-einfaehen Farben — und zwar innerhalb der ganzen Breite der normalen Farbeneindrücke — beimiseht. ist für die Physiologie der Farben ein unabweisliches Bedürfniss; die Hülfsmittel, um dieser Aufgabe zu genügen. sind ohne Zweifel nieht allzusehwer herzustellen.

§. 7. Die objectiven Intensitätsgrenzen des farbigen Lichtes innerhalb der normalen Farbenempfindungen.

Wie das weisse, so wirkt auch das farbige Lieht von einer bestimmten maximalen Intensität an blendend auf unser Auge; wogegen jenseits einer gewissen unteren Grenze das farbige Lieht seinen Farbenton verliert und nur noeh einen sehwaehen Liehteindruek von unbestimmter Qualität verursacht. Für die Farbenphotometrie ist die Kenntniss dieser beiden Grenzen der objeetiven Liehtstärken, innerhalb weleher sieh demnaeh die normalen Farbenempfindungen bewegen, unumgänglieh nöthig.

Die am Sonnenspeetrum angestellten Messungen des §. 9 werden darthun, dass die obere Grenze, wo die Farbeneindrüeke blendend zu werden beginnen, einer Liehtstärke entspricht, welehe ziemlich nahe jenseits 10 Millionen unserer Liehteinheiten liegt. Dabei wird eine gewisse mässige Ausdehnung der farbigen Fläehe vorausgesezt. Eine genaue Bestimmung dieser oberen Grenze (die wohl mit den Stimmungen der Netzhaut, selbst bei gleichen den Beobachter umgebenden Aussenbedingungen, etwas wechselt) durfte ich nicht vornehmen, ohne Gefahr zu laufen, auf anderweitige photometrisehe Messungen längere Zeit hindureh verzichten zu müssen.

Wird das Speetrum der Petroleumflamme dureh stark

wirkende Rauchgläser immer mehr abgeschwächt, so bleibt schliesslich im Bezirk C 90 D bis E 26 F ein minimaler Farbenton von »Roth« und »Blau« (nicht Grün!) übrig. Dieses ist der Fall, wenn das Spectrum der Petroleumflamme (bei 0,023 Millim. Spaltbreite) [1]) durch 4 starke und 2 schwache Rauchgläser abgeschwächt wird; die Zulage eines weiteren schwachen Rauchglases lässt sodann nur noch eine geringe indifferente Lichtempfindung übrig. Setzen wir die ursprüngliche Lichtstärke des Spectralbezirkes (bei ungehindertem Eintreten des Lichtes in die Spectroscopspalte) = 10 Millionen, so entspricht dem Punkt, wo die Farbe als solche verschwindet, eine Intensität von 0,44—1,10. Nun beträgt die ursprüngliche Lichtstärke des Bezirkes C 90 D—D 8 E in runder Zahl 870000 unserer Lichteinheiten [2]), also mindestens 12 mal weniger als diejenige Lichtstärke, bei welcher die Farbe blendend wird; somit differiren die objectiven Lichtstärken der gesuchten beiden Grenzpunkte unserer normalen Farbenempfindungen in dem genannten Spectralbezirk mindestens um das 120-Millionfache. Diese enormen Differenzen der, mit unseren normalen Farbenempfindungen überhaupt verträglichen, objectiven Lichtstärken vergrössern sich bedeutend, wenn man die schwachen Reizstärken, bei welchen das farbige Licht nur noch eine indifferente Lichtempfindung hervorruft, hinzurechnet. Nach Aubert [3]) ist schon die Helligkeit des gewöhnlichen diffusen Tageslichtes um mehr als 1 Million stärker als diejenige Helligkeit, bei welcher eine minimale Lichtempfindung noch möglich ist.

In der nachfolgenden Tabelle giebt die Verticalrubrik II. die relativen Lichtstärken an, bei welchen die einzelnen Bezirke des Spectrums der Petroleumflamme ihren Farbenton verlieren. Die ursprüng-

1) Die übrigen Versuchsbedingungen s. §. 15.
2) s. Tab. 37, §. 15.
3) Physiologie der Netzhaut, S. 67.

liche Lichtstärke jedes Bezirkes, dieselbe mag gross oder klein sein, ist = 1 gesezt. Die Abschwächung des Lichtes wurde durch, vor die Eintrittsspalte des Spectralapparates gebrachte, Rauchgläser erzielt. Die lichtarmen Bezirke ertragen die geringste, die lichtstärksten dagegen die grösste absolute und relative Minderung ihrer ursprünglichen Lichtstärke; die Werthe der Rubrik II. nehmen desshalb von A an anfangs rasch, später langsamer ab, erreichen in dem breiten Bezirke C 90 D—E 26 F das Minimum, um von da an, gegen H' hin, wiederum anfangs langsamer, später rascher zu steigen. Ausser diesem, von selbst sich verstehenden Resultat lässt sich aber der Einfluss des Farbentones nicht verkennen; in Rubrik I. ist (aus Tab. 37, §. 15) die Lichtstärke der Einzelbezirke des Spectrums der Petroleumflamme (in unseren Lichteinheiten) eingetragen und man sieht sogleich, dass das Licht von grösserer Wellenlänge eine geringere Abschwächung erträgt, als ungefähr gleichstarkes Licht von kleinerer Wellenlänge. Die Rubrik III. der nachfolgenden Tabelle giebt die Lichtstärken der bis auf den Verlust ihres Farbentones abgeschwächten Spectralbezirke in unseren Lichteinheiten; sieht man ab von dem Roth vor A, so ist die Lichtstärke des auf das Aeusserste abgeschwächten Roth zwischen A und a immer noch geringer als unsere Lichteinheit; in der Region F 40 G—F 50 G beträgt sie sogar bloss etwa $\frac{1}{400}$ einer Lichteinheit, so dass in diesem Bezirk die objective Helligkeitsdifferenz des Lichtes, welches den schwächsten, eben noch merklichen Farbeneindruck einerseits und einen blendenden Eindruck andererseits hervorruft, einen ganz kolossalen Werth annimmt.

Tabelle IX.

Spectrum der Petroleumflamme.

	I. Ursprüngliche Lichtstärke des Spectralbezirkes in Lichteinheiten.	II. Verhältnissmässige Abschwächung der ursprünglichen Lichtstärke, bei welcher der Farbeneindruck aufhört.	III. Lichtstärke des auf das Aeusserste abgeschwächten Spectralbezirkes in Lichteinheiten.
vor A . . .	366	0,0289	10
A—A 11 a	730	0,0008	0,6
A 11 a—A 37 a	2760	0,00033	0,9
A 37 a—a	5960—7059	0,0000243	0,14—0,17
a—a 25 B	12.530	0,000007	0,08
a 25 B—C 40 D	16.530—404.500	0,0000002	0,0033—0,08
C 40 D—C 90 D	561.900—875.100	0,0000001	0,05—0,08
C 90 D—E 26 F	875.100—129.900	0,00000005	0,04—0,006
E 26 F—E 55 F	117.200—84.700	0,0000001	0,011—0,005
E 55 F—E 63 F	71.100	0,0000002	0,014
E 63 F—F 50 G	36.200—3720	0,0000007	0,025—0,0026
F 50 G—G 20 H′	3239—515	0,0000243	0,079—0,012
G 20 H′—G 74 H′	278	0,0000525	0,014
G 74 H′—H′	224—174	0,000332	0,074—0,057

§. 8. Reduction des prismatischen auf das typische Spectrum.

Die photometrischen Messungen am prismatischen Spectrum führen keineswegs zu Werthen, die der wahren Helligkeit der Lichtstrahlen von bestimmter Brechbarkeit entsprechen. Während im Beugungsspectrum der Abstand jeder Farbe von dem mittleren weissen Streifen der entsprechenden Wellenlänge proportional ist, besteht im prismatischen Spectrum ein solcher Zusammenhang durchaus nicht. Geht man von der Mitte des Grün aus, so zeigen die Spectralbezirke

in der Richtung gegen Violett eine zunehmende Verbreiterung, in der Richtung gegen Roth eine zunehmende Verschmälerung. Die direct gemessenen Lichtstärken in der Region E—H sind also zu gering und zwar um so mehr, je mehr man sich der Linie H nähert, während sie in der Region E—A, in der Richtung gegen Roth, zunehmend grössere Werthe annehmen, als der Wirklichkeit entspricht.

Handelt es sich um die Gesammtsumme des Lichtes jedes einzelnen Spectralbezirkes, z. B. der von den grossen Fraunhofer'schen Linien begrenzten Regionen, so kommt jenes ungleiche Verhalten der verschieden brechbaren Strahlen nicht in Betracht, weil die schmäleren Bezirke geringerer Brechbarkeit um so viel heller erscheinen, als sie an Ausdehnung im prismatischen Spectrum verloren haben und andererseits die ausgedehnten Bezirke grösserer Brechbarkeit um so viel lichtärmer, als sie an Umfang gewonnen haben.

Für die meisten Zwecke genügt wohl die einfache Angabe der, am prismatischen Spectrum unmittelbar beobachteten Lichtstärken; es wird desshalb hinreichen, wenn ich in dieser Schrift bloss für das besonders wichtige Sonnenspectrum die Reduction der photometrischen Werthe auf das typische, nach der Wellenlänge der Einzelstrahlen construirte, Spectrum vornehme. Von den, mir zu Gebot stehenden Handbüchern der Optik geht bloss Billet's Traité d'optique physique, Paris 1858, Bd. 1, S. 47 auf die Vergleichung des prismatischen und typischen Spectrums ein; dieselbe beschränkt sich aber auf die Bestimmung des Verhältnisses der Breiten der von den grossen Fraunhofer'schen Linien eingeschlossenen Bezirke beider Spectren, ohne Rücksicht auf die Aenderungen, welche das in Rede stehende Verhältniss innerhalb jedes dieser Bezirke von Stelle zu Stelle bietet.

In meinem Spectralapparat (Flintglasprisma von 60°) zeigen die Einzelbezirke die in der nachfolgenden Tabelle verzeichneten Breitenwerthe, wenn der Abstand zwischen A

und H' = 100 angenommen wird. Zur Vergleichung sind die entsprechenden Werthe des typischen Spectrums beigesezt.

Tabelle X.

	Prismatisches Spectrum	Typisches Spectrum
A—a	3,77	11,57
a—B	3,39	8,69
B—C	3,77	8,38
C—D	11,70	19,17
D—E	14,34	17,13
E—F	13,57	11,22
F—G	25,66	15,23
G—H'	23,77	9,32
	(99,97)	(100,71)

Um die Abweichungen zu finden, welche die correspondirenden Bezirke beider Spectren zeigen, legte ich sowohl die Bestimmungen zu Grunde, die ich über die Lage einer Anzahl heller Linien (Ka, Na, Li, Ca u. s. w.) in meinem Spectrum gemacht hatte, als auch die Vergleichung der Lagen einer grösseren Zahl correspondirender Linien in den, nach der Wellenlänge construirten Tafeln Angström's und den Abbildungen des prismatischen Spectrums von Kirchhoff. Für den Bezirk G—H', den die Kirchhoff'schen Tafeln nicht enthalten, benützte ich die von Roscoe [1]) gegebenen Abbildungen. Als Resultat ergab sich, dass mein prismatisches Spectrum unmittelbar bei A eine Contraction um das 3,35fache zeigt; die Contraction nimmt in der Richtung gegen E anfangs rasch, von C an langsam ab. Unmittelbar vor E erleidet das prismatische Spectrum keine, resp. die geringste, Verzerrung, um von da an, anfangs langsam, etwa von G an rascher, verbreitert zu werden. 44, continuirlich auf einander folgende Bezirke beider Spectren zwischen A

1) Spectrum Analysis Tafel 5. Seite 181. London 1869.

und H' wurden auf diese Weise mit einander verglichen; an 11 Stellen ergaben sich kleine Ausnahmen, indem im nächsten Bezirk stärkerer Brechbarkeit eine stärkere Contraction, resp. geringere Verbreiterung gefunden wurde, als in den vorhergehenden Bezirken geringerer Brechbarkeit. Die Abweichungen sind aber nur gering, so dass ich den Gang der Erscheinung auf diesem Wege wohl mit leidlicher Approximation festgestellt habe. Tafel I. verzeichnet in der durch die Mitte gezogenen Horizontalen die relativen Abstände der Fraunhofer'schen Hauptlinien in meinem Spectralapparat; die Hauptbezirke sind ausserdem mit weiteren Theilungen versehen, wobei der jeweilige Abstand zwischen 2 Fraunhofer'schen Linien = 100 gesezt ist. Die von links und oben nach rechts und unten verlaufende, mit R..R..R bezeichnete Curve macht das Verhältniss des prismatischen zum typischen Spectrum anschaulich. Die Curve über der Horizontalen A—H' entspricht der Contraction, die Curve unter der Horizontalen der Verbreiterung im prismatischen Spectrum. Die betreffenden Werthe werden für jede Stelle des Spectrums gefunden, indem man eine Senkrechte von dem entsprechenden Punkt der Curve auf die Linie A—H' zieht. Die Abstände zweier Stellen im prismatischen Spectrum sind = 1 angenommen; die beigeschriebenen Ordinatenwerthe geben die Stärke der (auf 1) bezogenen Contraction, resp. Verbreiterung an. Demnach ist z. B. das prismatische Spectrum bei D 24 E um 1,275 contrahirt, bei G 45 H' um 2,51 verbreitert. Tabelle 13 des §. 9 enthält, in Brüchen angegeben, die Reductionscoeffienten, um das prismatische Spectrum in das typische zu verwandeln; von A—E bedeuten die Zahlen im Nenner die Stärke der Verschmälerung, von E—H' die Zahlen im Zähler die Stärke der Ausdehnung des prismatischen Spectrums. Die Lichtstärken des prismatischen Spectrums sind also zwischen A und E durch die betreffenden Zahlen zu dividiren, zwischen E und H' dagegen mit den

beigesetzten Zahlen zu multipliciren, um die wahren Intensitäten des Lichtes verschiedener Wellenlängen zu erhalten.

§. 9. Die Lichtstärke der Einzelbezirke des Sonnenspectrums.

Die grosse Verschiedenheit der Lichtstärke der Einzelbezirke des Sonnenspectrums schildert Newton [1]) mit den Worten: observandum est, colorum prismate exhibitorum clarissimos esse et fulgentissimos flavum et aureum. Hi sensum fortius, quam reliqui simul universi, afficiunt; hisque proximi sunt claritate color ruber et viridis. Caeruleus, cum hisce comparatus, debilis est et tenebricosus color; indicus autem et violaceus, multo etiam istis languidior. Adeo ut ii in colorum clariorum comparationem parvi momenti sint habendi.

Eine Messung der Lichtstärke der Farben des Sonnenspectrums (und zwar an acht Stellen) führte, nach der Seite 5 erwähnten Methode, zuerst Fraunhofer aus. In 4 Beobachtungsreihen erhielt derselbe folgende vergleichbaren Werthe für die Lichtstärken, wobei die Intensität des Lichtes am hellsten Ort = 1 gesezt ist.

Tabelle XI.

	I.	II.	III.	IV.	Mittel
Bei B	0,010	0,044	0,058	0,020	0,032
» C	0,048	0,096	0,15	0,084	0,094
» D	0,61	0,59	0,72	0,62	0,64
Zwischen D und E	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Bei E	0,44	0,38	0,61	0,49	0,48
» F	0,084	0,14	0,25	0,19	0,17
» G	0,010	0,029	0,053	0,032	0,31
» H	0,0011	0,0072	0,0090	0,0050	0,0056

1) Optice. Lausannae 1740. S. 69.

Die Fraunhofer'schen Messungen sind die einzigen, welche die Wissenschaft über diesen wichtigen Gegenstand bis jetzt besass.

Bei den nachfolgenden an vier Vormittagen des Frühjahrs 1869 angestellten Messungen war der Himmel während der Beobachtungszeit fast beständig rein und wolkenlos, so dass ich die Stärke des Sonnenlichts als annähernd constant annehmen darf [1]). Vermittelst eines, die bloss 0,051 Millim. breite, Spalte des Spectralapparates verdeckenden Rauchglases, welches nur $\frac{1}{3\,4}$ Licht durchlässt, wurde ein immer noch sehr helles Spectrum hergestellt, dessen Lichtstärke im Gelb und hellsten Rothgelb höchstens um $\frac{1}{4}$ hätte gesteigert werden können, ohne meinem Auge blendend zu werden. Die photometrischen Werthe sind in Lichteinheiten (s. S. 21) ausgedrückt. Die Ortsbestimmungen im äussersten Violett jenseits H' sind auf den Abstand zwischen G und H' bezogen, z. B. H'28 bedeutet einen Abstand von H' (in der Richtung in das überviolette Gebiet) gleich 28 % des Abstandes zwischen G und H'.

Bei gehöriger Abblendung des übrigen Spectrums erkenne ich in dieser Region bis etwa H'56 noch eine schwache Farbe.

---

1) Die Feuchtigkeitsgrade sind mit einem Saussure'schen Hygrometer gemessen, das aus der Werkstätte der Société génévoise pour la construction d'instruments de physique bezogen wurde. Bei öfters angestellten Prüfungen stand der Zeiger in einem mit Wassergas gesättigten Luftraum auf 100 und nur ausnahmsweise auf 101°. Im absolut trockenen Raum gieng er um 3—4° über den Nullpunkt der zweiten (geometrischen) Scala hinaus. Der Apparat ist übrigens nur bis hinab zu 10 % Feuchtigkeit graduirt; auch hält Regnault die Bestimmung des absoluten Trockenheitspunktes mittelst desselben für unmöglich. Ich kann mich somit dem sehr günstigen Urtheil, welches Wild in seinem Schriftchen über das Polaristrobometer S. 92 über die in genannter Werkstätte angefertigten Haarhygrometer ausspricht, vollkommen anschliessen.

Das in einem weiss angestrichenen Kästchen vor einem Fenster auf der Ostseite befindliche Thermometer giebt wegen dieser Aufstellung in den Vormittagsstunden zu hohe Lufttemperaturen an.

Tabelle XII.

Sonnenspektrum, geschwächt — durch ein starkes Rauchglas — auf 0,02896 = $\frac{1}{34,5}$.

Bezirk des Spectrums	I. 30. April 1869 Anfang: 10h 30' Ende gegen 12h		II. 1. Mai Anf.: 9h 30'—18°C. 48 Hygr. Ende: 11h 30'—19°C. 40 Hygr.		III. 23. Mai Anfang: 9h 15'—21,5°C. 48 Hygr. Ende: 10h 30'—23,5 C. 43 Hygr.		IV. 25. Mai 1869 Anf.: 10h 15'—23°,5 C. 52 Hygr. Ende: 11h 20'—24,2 C. 49 Hygr.		
A—a						5857		5857	
a—B	a—a 50 B a 50 B—B	80200 202200	a—a 50 B a 50 B—B	80200 202200	a—a 50 B a 50 B—B	80200 202200		80200	
B—C	B—B 50 C B 50 C—C	202200 493700	B—B 77 C B 77 C—C	228000 493000		202200		202200	
C—D	C—C 14 D C 14 D—C 48 D C 48 D—C 66 D C 66 D—D	1243000 2773000 3033000 6985000	C—C 23 D C 23 D—C 42 D C 42 D—C 52 D C 52 D—C 70 D C 70 D—D	1100900 1243000 2773000 3033000 6985000	C—C 47 D C 47 D—D	493000[1] 3033000[1]	C—C 40 D C 40 D—C 55 D C 55 D—D	1100900 1243800 6985000	1) Zu III. Bei Untersuchung der Region C—D ist wahrscheinlich ein sehr schwacher Wolkenschleier vor der Sonne unbemerkt geblieben.
D—E	D—D 10 E = D 10 E—E =	7891000 2773000	D—D 8 E D 8 E—E	7791000 3033000	D—D 36 E D 36 E—D 78 E D 78 E—E	7891000 3033000 2773000	D—D 38 E D 38 E—D 92 E D 92 E—E	6985000 3033000 2773000	
E—F	E—E 42 F E 42 F—E 68 F E 68 F—F	2773000 1243800 1100000	E—E 17 F E 17 F—F	2773000 1100000	E—E 17 F E 17 F—E 37 F E 37 F—E 62 F E 62 F—F	2773000 1243000 1100900 493700	E—E 52 F E 52 F—F	2773000 1243800	
F—G	F—F 12 G F 12 G—F 43 G F 43 G—F 73 G F 73 G—G	437000 202200 80200 35900	F—F 25 G F 25 G—F 50 G F 50 G—F 75 G F 75 G—G	493700 202200 90600 80200	F—F 22 G F 22 G—F 41 G F 41 G—G	493700 90600 80200	F—F 23 G F 23 G—F 50 G F 50 G—F 75 G F 75 G—G	493700 202200 80200 35900	
G—H'	G—G 33 H' G 33 H'—G 66 H' G 66 H'—H'	35900 14300 6600	G—G 30 H' G 30 H'—G 60 H' G 60 H'—G 85 H' G 85 H'—H'	35900 31800 13100 5800	G—G 26 H' G 26 H'—G 54 H' G 54 H'—G 81 H' G 81 H'—H'	31800 14300[2] 5600 2300	G—G 26 H' G 26 H'—G 54 H' G 54 H'—G 74 H' G 74 H'—H'	35900 14300 6600 5800	2) Zu III. Während des 5 Minuten dauernden Vorüberganges einer kleinen grauen Cumuluswolke vor der Sonne sank die Lichtstärke auf 366.
jenseits H'	H' 28	1043	H' 28	900	H' 28 H' 28 — H' 56	923 26 [3]	H' 28 H' 56 H' 84	1043 414 366	3) Zu III. Bald nach Beendigung der Beobachtungsreihe wird die Sonne auf längere Zeit v. Wolken verdeckt.

In den 4 senkrechten Reihen der obigen Tabelle decken sich die entsprechenden Einzelbezirke des Spectrums nicht vollständig, so dass bei der Berechnung der Endmittel in Tabelle 13 das Spectrum in eine erheblich grössere Zahl von Bezirken zerfällt als in jedem einzelnen Beobachtungstag. Diese Theilung geht an einzelnen Stellen z. B. E 17 F—E 37 F und E 37 F—E 42 F nothwendig so weit, dass die kleinen Unterschiede der entsprechenden Lichtstärke, die durch einen einzigen weitern Beobachtungstag möglicherweise ausgeglichen würden, der directen photometrischen Messung nicht mehr zugänglich sind. Die Rubrik »prismatisches Spectrum« giebt die unmittelbar gemessenen Lichtstärken; die des »typischen Spectrums« die wahren Intensitäten der Strahlen der verschiedenen Wellenlängen. Wegen der Reduction der ersteren Zahlen auf die letzteren und der Bedeutung der mit »Reductionscoëfficient« überschriebenen Rubrik der nachfolgenden Tabelle, s. §. 8. Die Rubrik »Maximum« der Tabelle 13 soll die Abweichungen, welche die gemessenen Lichtstärken während der 4 Beobachtungstage in jedem Einzelbezirk bieten, leichter übersichtlich machen; die Zahlen drücken die grösste Lichtstärke aus, wenn die geringste = 10 gesezt wird. Durchschnittlich schwanken die Abweichungen etwa um das Doppelte; nur in wenigen Bezirken z. B. C 14 D—C 47 D steigen sie auf das Sechsfache, was von den in Tab. 12 an den betreffenden Orten angemerkten Ursachen herrührt.

Tabelle XIII.

Sonnenspectrum geschwächt auf 0,02896 = $\frac{1}{34}$.

Mittelwerthe aus Tabelle XII.

Spectralbezirk	Lichtstärke des prismatischen Spektrums	Lichtstärke des typischen Spektrums	Reductionscoëfficient	Maximum (Minimum = 10)
A—a	5857	1901	$\frac{1}{3,08}$	10
a– a 50 B	80.200	29.590	$\frac{1}{2,71}$	10
a 50 B—B	171.700	68.680	$\frac{1}{2,50}$	25
B = B 50 C	208.600	86.550	$\frac{1}{2,41}$	10
B 50 C—B 77 C	281.000	128.900	$\frac{1}{2,18}$	24
B 77 C—C	347.900	167.260	$\frac{1}{2,08}$	24
C—C 14 D	984.400	504.820	$\frac{1}{1,95}$	26
C 14 D—C 23 D	1.366.900	746.940	$\frac{1}{1,83}$	60
C 23 D—C 40 D	1.402.400	810.630	$\frac{1}{1,73}$	60
C 40 D—C 42 D	1.438.200	861.190	$\frac{1}{1,67}$	60
C 42 D—C 47 D	1.820.700	1.103.450	$\frac{1}{1,65}$	60
C 47 D—C 48 D	2.455.700	1.497.370	$\frac{1}{1,64}$	24
C 48 D—C 52 D	2.520.700	1.555.980	$\frac{1}{1,62}$	24
C 52 D—C 55 D	2.585.700	1.616.060	$\frac{1}{1,60}$	24
C 55 D—C 66 D	4.021.000	2.577.560	$\frac{1}{1,56}$	23
C 66 D—C 70 D	5.009.000	3.252.600	$\frac{1}{1,54}$	23
C 70 D—D	5.997.000	4.164.580	$\frac{1}{1,44}$	23
D—D 8 E	7.664.000	5.677.030	$\frac{1}{1,35}$	11
D 8 E—D 10 E	6.450.000	4.849.620	$\frac{1}{1,33}$	26
D 10 E—D 36 E	5.170.500	4.071.250	$\frac{1}{1,27}$	28
D 36 E—D 38 E	3.956.000	3.242.620	$\frac{1}{1,22}$	25
D 38 E—D 72 E	2.968.000	2.580.870	$\frac{1}{1,15}$	11
D 72 E—D 92 E	2.903.000	2.764.760	$\frac{1}{1,05}$	11
D 92 E—E	2.838.000	2.809.900	$\frac{1}{1,01}$	11
E—E 17 F	2.773.000	2.979.990	$\frac{1,05}{1}$	10
E 17 F—E 37 F	1.972.000	2.008.600	$\frac{1,12}{1}$	25

Spectralbezirk	Lichtstärke des prismatischen Spektrums	Lichtstärke des typischen Spektrums	Reductionscoëfficient	Maximum (Minimum = 10)
E 37 F—E 42 F	1.936.700	2.265.900	$\frac{1,17}{1}$	25
E 42 F—E 52 F	1.554.200	1.888.500	$\frac{1,21}{1}$	25
E 52 F—E 62 F	1.172.100	1.441.680	$\frac{1,23}{1}$	11
E 62 F—E 68 F	1.020.100	1.285.320	$\frac{1,26}{1}$	25
E 68 F—F	984.200	1.179.460	$\frac{1,30}{1}$	25
F—F 12 G	493.700	676.370	$\frac{1,37}{1}$	10
F 12 G—F 22 G	420.800	601.740	$\frac{1,43}{1}$	24
F 22 G—F 23 G	320.000	470.400	$\frac{1,47}{1}$	54
F 23 G—F 25 G	247.100	365.700	$\frac{1,48}{1}$	54
F 25 G—F 41 G	174.500	260.470	$\frac{1,55}{1}$	22
F 41 G—F 43 G	171.200	277.990	$\frac{1,62}{1}$	25
F 43 G—F 50 G	141.200	236.400	$\frac{1,67}{1}$	25
F 50 G—F 73 G	82.300	148.140	$\frac{1,80}{1}$	11
F 73 G—F 75 G	71.700	136.230	$\frac{1,90}{1}$	25
F 75 G—G	58.000	116.000	$\frac{2,00}{1}$	22
G—G 26 H'	34.800	76.900	$\frac{2,21}{1}$	11
G 26 H'—G 30 H'	25.100	58.730	$\frac{2,34}{1}$	25
G 30 H'—G 33 H'	24.100	57.350	$\frac{2,38}{1}$	25
G 33 H'—G 54 H'	18.700	46.370	$\frac{2,48}{1}$	24
G 54 H'—G 60 H'	14.600	37.960	$\frac{2,60}{1}$	55
G 60 H'—G 66 H'	9.900	26.330	$\frac{2,66}{1}$	25
G 66 H'—G 74 H'	7.900	21.480	$\frac{2,72}{1}$	23
G 74 H'—G 81 H'	7.800	21.918	$\frac{2,81}{1}$	23
G 81 H'—G 85 H'	6.900	19.800	$\frac{2,87}{1}$	57
G 85 H'—H'	5.100	15.300	$\frac{3,00}{1}$	29
H' 28	977	—	—	11
H' 28—H' 56	414	—	—	—

Die graphische Darstellung der Tafel II. wird die Lichtstärken der Einzelbezirke des Sonnenspectrums besser übersichtlich machen. Die Ordinatenwerthe der ausgezogenen Linie dieser Tafel entsprechen den Lichtstärken der Tab. 13, am rechten Rand der Tafel sind in Rubrik I. die Lichtstärken von 0 bis 7,800,000 Lichteinheiten — je um 60,000 Einheiten fortschreitend — angegeben. Nach unsern Erfahrungen steigt die Lichtstärke des prismatischen Sonnenspectrums im Roth, von der Linie A an bis zum hellsten Bezirk (bei C) um etwa das 60-fache; innerhalb des Orange auf den etwa $2\frac{1}{2}$-fachen Betrag; im Gelb — wo sie das Maximum erreicht — betragen die grössten Unterschiede das Dreifache; im Grün das $3\frac{1}{2}$-fache, im Blau das 34-fache, im Violett, soweit es untersucht wurde, das 70-fache. Der lichtstärkste Bezirk ist etwa 20,000 mal heller als der lichtschwächste des äussersten, meiner Messung noch zugänglichen Violett jenseits H'. Die nachfolgende Tabelle soll unser Ergebniss mit den von Fraunhofer gefundenen Endwerthen vergleichen.

Tabelle XIV.

Relative Lichtstärke des Sonnenspectrums

	nach Fraunhofer	nach meinen Messungen
Bei B	0,032	0,022
» C	0,094	0,128
» D	0,64	0,78
Zwischen D und E	1,00	1,00
Bei E	0,48	0,37
» F	0,17	0,128
» G	0,031	0,008
» H'	0,0056	0,0007

In den mittleren Stellen des Spectrums stimmen demnach die beiden Beobachtungsreihen mehr mit einander überein als in den Endbezirken; immerhin aber ist es beachtenswerth, dass Fraunhofer mittelst seiner bloss subjectiven Methode

— zu deren Anwendung sich nur wenige Augen für befähigt halten mögen — zu Ergebnissen gelangt ist, welche von denen nicht allzusehr abweichen, die mittelst eines objectiven, jedem Auge leicht zugänglichen Verfahrens gewonnen worden sind.

Die enormen Unterschiede der objectiven Lichtstärke in den Einzelbezirken des Sonnenspectrums machen auf das Auge desshalb keinen entsprechenden Eindruck, weil die Netzhaut, wie jeder Sinnesnerv, zur Perception nicht etwa von absoluten, sondern nur von relativen Unterschieden der Reizgrössen befähigt ist (Weber-Fechner'sches Gesetz). Wir erhalten also in den verschiedenen Stellen der objectiven Intensitätsscala des Reizes gleiche Empfindungsunterschiede nur dann, wenn die relativen Reizunterschiede sich gleich bleiben. Die Stärke der Empfindung wächst wie die Logarithmen der Reize.

Die punktirten Linien der Tafel II. drücken die Curve der Lichtstärken mit Rücksicht auf dieses eigenthümliche Verhalten unserer Lichtempfindungen aus. Die Zahlen der Verticalcolumne II. am rechten Rand der Tafel gehen aus von der Intensität von 4545 Lichteinheiten und wachsen um je $\frac{1}{10}$, wiederum bis zu der Lichtstärke, welche für mich blendend zu werden beginnt, d. h. bis auf etwas über 10 Millionen Lichteinheiten. Die von den Einzelpunkten dieser Curve auf den Abscisse A—H' gezogenen Ordinaten repräsentiren demnach das wahre Verhältniss der Farbenintensitätsempfindungen im Gesammtbereich des Sonnenspectrums, da das Weber-Fechner'sche Gesetz innerhalb einer grossen Breite der objectiven Lichtstärken als annähernd gültig betrachtet werden darf. Die geringste objective Lichtstärke der Rubrik II., mit 4545 Lichteinheiten, verursacht eine Farbenempfindung von noch ziemlicher Deutlichkeit; da (nach §. 7) unsere Lichteinheit, ja sogar 0,01 der Lichteinheit, einen eben noch merklichen farbigen Eindruck auslöst. Mindern

wir die Lichtstärke 4545 successiv um je $\frac{1}{10}$ ab, bis herab zur Lichtstärke 0,01, so erhalten wir eine weitere Anzahl von Abstufungen der objectiven Lichtstärke, welche die in der Verticalreihe II. der Tafel I. verzeichnete, um etwa das $1\frac{1}{2}$-fache übertrifft. Diese Construction wäre jedoch desshalb nicht zulässig, weil — wie namentlich Aubert gezeigt hat — die Unterscheidungsempfindlichkeit für Lichtstärken im Bereich geringer absoluter Helligkeiten immer mehr abnimmt und schliesslich sehr gering wird.

Durch Construction des typischen Sonnenspectrums erhalten wir in Tafel III. eine Uebersicht über die wahre Lichtstärke der Strahlen von verschiedener Wellenlänge. Die grossen Fraunhofer'schen Linien sind in Abstände gebracht, welche den absoluten Differenzen ihrer Wellenlängen entsprechen; zur Bezeichnung der Einzelstellen zwischen je 2 grossen Fraunhofer'schen Linien sind dagegen deren relative Abstände im prismatischen Spectrum unverändert beibehalten worden. Demnach repräsentirt in Tafel III. z. B. a 50 B unseres typischen Spectrums die Stelle a 52 B u. s. w.; kleine Ungenauigkeiten, welche in unserem Fall nicht in Betracht kommen können.

Die photometrischen Werthe der Rubrik »Lichtstärke des typischen Spectrums« sind aus Tabelle 13 in Tafel III. wiederum in doppelter Weise eingetragen; die am rechten Rand der Tafel verzeichneten Werthe wachsen, von 0 an, je um 50,000 Lichteinheiten, die entsprechende Curve der Lichtstärke wird durch die ausgezogene Linie dargestellt; am linken Rand der Tafel dagegen wachsen die Werthe, von 1752 Lichteinheiten an, je um $\frac{1}{10}$. Die zugehörige Curve der Lichtintensitäten ist punktirt angegeben; dieselbe entspricht dem Wachsthum unserer Lichtstärkeempfindungen in den Einzelbezirken des typischen Spectrums.

Demnach steigt die Lichtsärke von A an, anfangs langsam, später zunehmend rascher, um bei D das Maximum zu

erreichen und sodann, wiederum anfangs rasch, später zunehmend langsamer zu fallen. Zwischen D und F kommen einzelne Ausnahmen vor, indem an 4 Stellen die Intensität mit zunehmender Brechbarkeit des Lichtes etwas zunimmt. Ob diese Ausnahmen auf Fehlern bei der photometrischen Messung oder — was mir wahrscheinlicher ist — auf einzelnen unrichtigen Coëfficienten bei der Reduction des prismatischen in das typische Spectrum beruhen, muss ich dahingestellt sein lassen. Es lässt sich nicht verkennen, dass in Tafel III. im Grossen und Ganzen das Wachsthum der Lichtstärke sowohl von A, als von H an, gegen D ziemlich übereinstimmend erfolgt; würden wir die Tafel II. bis auf die äussersten Grenzen der gewöhnlich sichtbaren Farben ausdehnen, so käme Linie D nahezu in die Mitte unseres typischen Spectrums. Die von uns gefundene Vertheilung der Helligkeit in den verschiedenen Bezirken des typischen Spectrums erscheint als die einfachste und natürlichste Consequenz der Thatsache, dass unsere Lichtwahrnehmungen an bestimmte Wellenlängen des Sinnesreizes gebunden sind. Die optische Stärke der Farbenstrahlen wird demnach sowohl am äussersten Violett, als am äussersten Roth in der Richtung gegen Gelb einigermaassen gleichmässig zunehmen und die Stelle grösster Helligkeit im Bezirke mittlerer Wellenlänge (von 0,0058 Millimeter) liegen müssen.

§. 10. Die Gesammtlichtstärke der Einzelfarben des Sonnenspectrums.

Die Gesammtlichtstärke eines Spectralbezirkes ist das Produkt der von der Flächeneinheit ausgehenden Lichtmenge in die Zahl der Flächeneinheiten des Bezirkes. Beschränken wir uns, was für unsere Zwecke genügt, auf die Vergleichung der Einzelbezirke des Spectrums in Bezug auf ihre Gesammtlichtstärken, so finden letztere ihr Maass in dem Produkt der

Breite des Bezirkes in dessen Lichtstärke. Die verhältnissmässige Breite der einzelnen Bezirke eines prismatischen Spectrums mag übrigens sein, welche sie wolle; das Verhältniss ihrer Gesammtlichtstärken wird dadurch nicht alterirt, weil die Breitezunahme mit einer entsprechenden Abnahme der für die Flächeneinheit berechneten Lichtstärke verbunden ist und umgekehrt mit der Verschmälerung des Bezirkes die Lichtstärke der Flächeneinheit entsprechend zunimmt.

Dem Raum von A—H' meines Spectrums entsprechen 185 Theile des Kreisbogens der Alhidade [1]). Rubrik *a* der nachfolgenden Tabelle giebt die Gradtheile, welche auf die einzelnen Spectralbezirke fallen, d. h. die relative Breite der letzteren. Rubrik *b* enthält die relative Gesammthelligkeit der Einzelbezirke, als Produkte der Lichtstärken in die Zahl der Gradtheile; die betreffenden Werthe sind, um kleinere Zahlen zu erhalten, um das Hundertfache verkleinert [2]). In Rubrik *c* ist die Gesammthelligkeit der Einzelbezirke in anschaulicheren Vergleichswerthen gegeben, wobei die Totallichtstärke zwischen D und E = 1 gesezt ist. Zur Vergleichung giebt Rubrik *d* die von Cornelius [3]) aus den Fraunhofer'schen Beobachtungen berechneten Helligkeitswerthe.

---

1) Eigentlich 18½ Grade; es können aber Zehntelsgrade mit vollkommener Genauigkeit abgelesen werden.

2) Den Verschiebungen der beweglichen Spalte, resp. den Dimensionen im Spectrum ist in meinem Apparat die Graduirung des Kreisbogens der Alhidade keineswegs vollständig proportional. Eine bessere Uebereinstimmung liesse sich — obschon es unwesentlich und auf die Genauigkeit der Ortsbestimmungen ohne Einfluss ist — durch eine geringe Veränderung der Form des Alhidadenschlizes erreichen. Auf den Abstand A bis H' fallen 133 Theilstriche der photographirten Scala meines Scalenrohres. Mittelst letzterer wurden die wahren Abstände der Fraunhofer'schen Linien meines Spectrums bestimmt. Die in Gradbogenwerthen ausgedrückten relativen Breiten der Spectralbezirke, wie sie in Rubrik *a* der Tabelle gegeben sind, stellen reducirte Werthe dar.

3) Theorie des Sehens. Halle 1861. Seite 65.

Tabelle XV.

Spectralbezirk	Breite *a*	Gesammtlichtstärke der Einzelbezirke des Sonnenspectrums *b*	in Vergleichswerthen *c*	in Vergleichswerthen nach Fraunhofer *d*
A—a	6,97	404	0,0079	—
a—B	6,27	7826		
B—C	6,97	18.206	0,0172	0,021
C—D	21,6	703.181	0,6657	0,299
D—E	26,5	1.056.256	1	1
E—F	25,1	406.979	0,3852	0,328
F—G	47,47	83.125	0,0787	0,185
G—H'	43,97	8138	0,0077	0,335

Die Angaben über die Farbengrenzen im Spectrum variiren je nach der Individualität des Beobachters und der Gesammthelligkeit; auch fallen sie etwas verschieden aus, je nachdem man das ganze Spectrum, oder bloss bestimmte Bezirke desselben, bei Abblendung der übrigen, betrachtet. Meinem Auge erscheinen beide Grenzen des Gelb und Grün (resp. Grüngelb) verhältnissmässig scharf umschrieben; dagegen ziemlich wechselnd die Grenze zwischen Blau und Violett. Eine Grenze zwischen Roth und Orange kenne ich nicht. Versuche ich, die Region Blau in die bekannten Unterabtheilungen zu zerlegen, so wechseln die Entscheidungen von einem Tag zum andern nicht unbedeutend. Nehmen wir die Grenzen der Einzelfarben, wie sie in nachfolgender Tabelle für meine Empfindung bezeichnet sind, so ergeben sich die nachstehenden Vergleichswerthe für die Totalhelligkeit der Hauptfarben, sowie, durch Division dieser Zahlen mit der Breite der betreffenden Bezirke, die mittlere Lichtstärke derselben. Um kleine Zahlen zu erhalten, sind die Werthe der Tabelle durch Zehntausend dividirt.

Tabelle XVI.

Gesammthelligkeit der Einzelfarben des auf $\frac{1}{37}$ geschwächten Sonnenspectrums.

	Gesammthelligkeit	Mittlere Lichtstärke	Grenzen der Farbenbezirke
Roth	264	13	A—C
Orange	1538	142	C—C 52 D
Orangegelb und Gelb	7185	570	C 52 D—D 10 E
Grün und Blaugrün	11.355	308	D 10 E—E 52 F
Blau	2118	30	E 52 F—G 25 H'
Violett	42	1,2	G 25 H'—H' [1])

§. 11. Die Lichtstärke der Einzelfarben des Sonnenspectrums bei künstlicher Veränderung der Gesammtlichtstärke.

Die Messungen des vorigen §. betreffen ein sehr lichtstarkes Spectrum, dessen Intensität im Gelb so bedeutend ist, dass eine nur mässige Steigerung mein Auge blenden würde. Diese Lichtstärke wurde, wie erwähnt, durch die Anwendung eines starken Rauchglases hervorgebracht, weches das Sonnenlicht auf 0,029 abschwächt. Zur Herstellung lichtärmerer Spectren dienten wiederum entsprechende Zusammenstellungen von Rauchgläsern (bis zu 3 »starken« Gläsern); während grössere Lichtstärken zunächst durch schwächere Rauchgläser und sodann mittelst allmäliger Vergrösserung der, durch kein Rauchglas verlegten Eintrittsspalte des Spectralapparates erzielt wurde.

Beim ungehinderten Eindringen des von beiden Helio-

1) Verlegt man, wie es gewöhnlich geschieht, den Anfang des Violett in die Linie G, so ist die Gesammthelligkeit des Violett noch einmal so gross, als oben angegeben, die des Blau um $\frac{1}{50}$ geringer. Die Begrenzung von Violett und Blau ist bekanntlich die willkürlichste von allen; der Bezirk Violett nimmt (für mein Auge) bei abnehmender Lichtstärke auf Kosten des Blau erheblich zu.

statenspiegeln reflectirten Sonnenlichtes in die bloss 0,051 Millim. breite Spalte ist die Lichtstärke in den am wenigsten brechbaren Bezirken bis C, in den brechbarsten dagegen bis F 50 E für mein Auge noch nicht blendend. Die Bezirke von C bis E 50 F zeigen in diesem Falle eine für mich unerträgliche Helligkeit; auch könnte ich sie wegen der hier nicht mehr ausreichenden Stärke meines Normallichtes photometrisch nicht mehr bestimmen. Durch Vergrösserung der Eintrittsspalte bis auf $3\frac{1}{3}$ Millim., d. h. eine Vermehrung der Lichtstärke um nahezu das Siebzigfache, wird meinem Auge das ganze Spectrum blendend, mit Ausnahme des äussersten Violett von G 78 H' an, das übrigens seinen Farbenton fast vollständig verloren hat, der dem Eindruck eines starken Weiss Platz macht. Die von mir beobachtete grösste objective Lichtstärke (in dem, wegen seiner geringen Anfangshelligkeit die grösste Steigerung zulassenden Violett) verhielt sich zur geringsten wie 2.600.000 zu 1.

Die Anwendung des Seite 15 beschriebenen Verfahrens zur Abblendung des ganzen Spectrums mit Ausnahme der eben zu untersuchenden Stelle, ist bei diesen Beobachtungen unumgänglich nöthig.

Bei der Lösung meiner Aufgabe hatte ich die Wahl, jeweils an einem und demselben Tage entweder das, auf eine bestimmte (constante) Helligkeit gebrachte, Spectrum in allen seinen Bezirken, oder bloss einen bestimmten Bezirk des Spectrums bei sehr verschiedenen Helligkeitsgraden zu untersuchen. Da die letztere Aufgabe die wichtigere ist, und ihre Ergebnisse indirect auch zur Beantwortung der ersteren führen, wenn anders die einzelnen Beobachtungstage in ihrer Helligkeit wenigstens annähernd übereinstimmen, so gab ich demselben um so mehr den Vorzug, als die Messungen bequemer und schneller auszuführen sind.

Die Versuche wurden im Verlaufe des Jahres 1869 angestellt, welches leider eine nur mässige Anzahl von Tagen

Tabelle XVII.

Sonnenspectrum bei verschiedenen Helligkeitsgraden.

	Zahl der Rauchgläser	Spaltbreite (Millim.)	Lichtstärke der Sonne a	Lichtstärke der Sonne b	A—a	a—B	B—C	C—C 47 D	C 47 D—D	D—D 46 E	D 46 E—E	E—E 50 F	E 50 F—F	F—F 27 G	F27 G-F48G	F48 G-F75G	F 75 G-G	G-G 26 H'	G26H'-G52H'	G52H'-G78H'	G 78 H'-H'
I	3 st — 2 s.	0,051	—	38	—	—	—	—	1043	1042	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II	3 » 1 s	»	—	96	—	—	—	923	2600	2426	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
III	3 » —	»	1	243	—	—	1043	2325	5670	9.470	1043	2325	1043	923	414	169	67	75	374	414	67
IV	2 st. 3 s	»	2,1	525	—	—	2600	6618	14.300	22.470	5850	5850	2320	1043	923	384	169	191	644	923	169
V	2 » 2 s	»	5,4	1.322	169	1043	6618	13.100	35.900	56.030	10.700	12.500	5857	2300	1040	366	243	384	923	1043	169
VI	2 » 1 s	»	13,7	3.329	169	5800	13.150	14.300	90.600	127.020	31.800	33.850	12500	2620	2620	366	414	366	923	2325	384
VII	2 » —	»	34,5	8.386	366	10700	31.800	90.600	228.500	202.200	80.200	85.300	33.850	6.600	6600	923	923	923	923	2627	923
VIII	1 » 3 s	»	74	18.120	660	31800	35.900	228.000	437.000	493.700	202.200	147.400	58.050	35.950	10.700	2.300	923	2320	2.320	2627	1043
IX	1 » 2 s	»	187	45.600	923	31800	35.900	437.000	1.100.900	1.172.300	437.000	329.900	146.400	80.200	31.800	5.800	1043	5.800	5.800	5800	1043
X	1 » 1 s	»	473	114.900	2320	80200	146.400	658.300	2.773.000	2.903.000	1.100.900	779.200	475.600	215.300	90.690	14.300	2627	13.100	10.400	13.150	2325
XI	1 » —	»	1193	289.600	10070	180.000	319.600	1.100.900	7.438.000	5.412.400	2.773.000	2.008.400	797.300	457.600	228.500	31.800	14.300	31.800	21.280	14.300	2470
XII	0 — 3 s	»	2575	625.700	22.470	196.000	779.200	2.008.400	7.891.800	7.891.800	6.985.000	2.903.000 weisslich	2.008.000	493.700	493.700	31.800	31.800	35.900	31.860	80.250	4242
XIII	0 — 2 s	»	6486	1.576.100	44.900	266.000	1.172.300	3.033.000	Max. blendend	Max.	7.891.800	7.891.800	5.009.000	1.243.800	1.100.900	90.600	80.200	90.600	80.250	90.690	6230
XIV	0 — 1 s	»	16.337	3.970.000	143.400	493.700	2.903.000	Max.			Max. blendend	Max. blendend	8.948.000	3.033.000	2.773.000	493.700	493.700	228.500	90.690	202.200	10.760
XV		»	41.152	10.000.000	202.200	1.936.900	6.697.000						Max. blendend nahezu weiss	6.985.000	6.985.000	2.773.000	1.100.900	493.700	228.500	457.600	23.080
XVI		0,103	82.304	20.000.000	228.500	3.033.000	Max. blendend							Max.	Max.	6.985.000	2.773.000	1.100.000	493.700	493.700	58.100
XVII		0,206	164.609	40.000.000	457.600	6.985.000										7.891.000	3.033.000	1.243.800	1.100.900	1.100.900	90.690
XVIII		0,411	329.218	80.000.000	1.243.000	Max. nahezu blendend										Max.	7.891.000	3.033.000 weisslich	2.773.000	2.773.000	215.200
XIX		0,823	658.436	160.000.000	?												Max. blendend	7.891.000	6.985.000	3.033.000 weisslich	319.500
XX		1,646	1.316.872	320.000.000														Max.	Max.	6.985.000	1.100.900 weiss
XXI		3,292	2.633.744	640.000.000																Max.	2.773.000

Eintrittspalte durch kein Rauchglas verletzt

Beobachtungstag	7. Juni 1869		3. Juni		8. Juni		28. Juli	30. Juli	5. August		27. Sept.	28. Sept.	29. September		30. Sept.	18. Oct.
Stunde . . .	$10^h 15'$		8^h		$10^h 15'$		$10^h 20'$	$10^h 15'$	10^h		9^h	9^h	9^h		$10^h 55'$	$9^h 45'$
Temperatur . .	30° C.		16°5		33°		32°	34°	36°		21°	21°	24°		26°	10° C.
Hygrometer . .	43%		70%		45%		48%	44%	49%		66%	65%	61%		55%	60%

mit vollkommen wolkenloser Atmosphäre bot [1]). Die Mehrzahl der Messungen wurde durch eine oder zwei weitere Prüfungen an denselben Versuchstagen, gelegentlich auch an anderen Tagen, controlirt. Bei jeder Beobachtungsreihe ist in Tabelle 17 (am Ende dieser Schrift) die Zeit des Anfangs, sowie die dem Anfangstermin entsprechende Wärme und Feuchtigkeit der Luft angegeben. Jede in den einzelnen Verticalcolumnen verzeichnete Beobachtungsreihe war in $\frac{3}{4}$—$1\frac{1}{2}$ Stunden beendet. Die Zahl und Stärke der, vor die Eintrittsspalte für das Licht gebrachten, Rauchgläser ist in der zweiten Verticalcolumne angegeben; 3 st. 2 sch. z. B. bedeutet 3 starke sammt 2 schwachen Rauchgläsern. Die Zahlen der Tabelle 17 geben in unseren Lichteinheiten die Intensitäten der Einzelfarben an. Der Ausdruck Maximum bedeutet, dass die Spectralfarbe ihren durch mein Normallicht überhaupt messbaren maximalen Werth überschritten hat; letzterer ist glücklicherweise zugleich auch die Grenze der stärksten Lichtempfindung, welche ein Auge einige Zeit hindurch ertragen kann, und jenseits welcher jede Einzelfarbe beginnt, mich derart zu blenden, dass eine Intensitätsmessung auch mit Hülfe einer lichtstärkeren Normalflamme nicht mehr ausführbar wäre.

1) Die Lage meines Beobachtungszimmers gestattet nur am Vormittag Untersuchungen des Sonnenspectrums; der Apparat, der sammt den Nebenvorrichtungen, um vorherige zeitraubende Zurüstungen zu vermeiden, ein für allemal fest aufgestellt war, konnte aus verschiedenen Gründen nicht wohl in ein anderes auch der Nachmittagssonne zugängliches Zimmer verbracht werden. Bekanntlich zeigt die Atmosphäre den höchsten Grad der Reinheit nicht sowohl beim wolkenlosen Himmel, sondern nach einem leichten Regen, welcher den in der Luft enthaltenen Staub niederschlägt, also in der Regel bei einer sehr mässigen Bewölkung. Gleichwohl ist es nicht zu empfehlen, solchen Tagen zur Beobachtung des Sonnenspectrums den Vorzug zu geben, weil dieselben unter Umständen erhebliche Helligkeitsschwankungen bieten. Schon das Vorbeiziehen einer Wolke in der Nähe der Sonne, ohne dass letztere durch einen wahrnehmbaren Schleier gedeckt wird, kann, wie ich mich öfters überzeugte, die Lichtstärke des Sonnenspectrums merklich mindern.

Die aus oben angegebenem äusserem Grunde beschränkte Zahl der Beobachtungstage gestattet nur eine vorläufige Lösung unserer Aufgabe. Die annähernde Uebereinstimmung der Lichtstärke in den 11 Beobachtungstagen der Tabelle 17 wird durch die Vergleichung der, bei der Anwendung eines starken Rauchglases erhaltenen photometrischen Werthe (Horizontalreihe XI. der Tabelle 17) mit den, unter denselben Bedingungen ermittelten, Werthen des Normalspectrums der Tab. 12, dargethan; besser und übersichtlicher aber durch die in Tab. 18 gegebene Gegenüberstellung der Helligkeit der von den grossen Fraunhofer'schen Linien begrenzten Hauptbezirke des Sonnenspectrums.

Tabelle XVIII.

Relative Gesammtlichtstärke der Spectralbezirke. (In beiden Reihen ist das Sonnenspectrum durch ein starkes Rauchglas auf 0,0289 geschwächt.) Die Zahlen der Tabelle sind durch Hundert dividirt.

Spectralbezirk	Tabelle 12.	Horizontalreihe XI, Tab. 17.
A—B	8230	13.064
B—C	18.206	22.227
C—D	703.181	885.515
D—E	1.056.256	1.052.524
E—E	406.979	352.647
F—G	83.125	90.096
G—H'	8138	8301

Die Uebereinstimmung im Ganzen und Grossen ist demnach, obschon es sich um verschiedene Beobachtungstage handelt, (mit Ausnahme des Roth) eine recht befriedigende. Der Ueberblick über die photometrischen Werthe der Tab. 17 lässt, wegen der grösseren Zahl ihrer Einzelbezirke. manche Abweichungen erkennen, die durch fortgesetzte Beobachtungen sicherlich ausgeglichen werden könnten. In einzelnen Verticalrubriken dieser Tabelle zeigt die Lichtstärke bei der nächst-

stärkeren Beleuchtung keine Zunahme, sondern den früheren Werth [1]); sowie in den horizontalen Rubriken die Intensitätswerthe beim Fortgang in die nächstliegenden, notorisch lichtärmeren Bezirke an einzelnen Stellen keine Abnahme, ausnahmsweise sogar eine Zunahme zeigen. Versuchsfehler, vorzugsweise aber wirkliche Ungleichheiten der Stärke des Sonnenlichtes an den einzelnen Beobachtungstagen verursachen diese Anomalie.

Die nachfolgende Tabelle 19 theilt, um eine rasche Uebersicht über die verschiedenen Helligkeitsgrade im Bereich des Sonnenspectrums zu ermöglichen, und wenigstens einen Theil der zufälligen Abweichungen in den 17 Spectralbezirken der Tabelle 17 auszugleichen, das Spectrum in bloss 7 Abtheilungen, deren Grenzen durch die grossen Fraunhofer'schen Linien gegeben sind. Die Zahlen drücken die Gesammthelligkeit jedes einzelnen Spectralbezirkes aus bei 13 verschiedenen, durch Rauchgäser hergestellten, Helligkeitsgraden des directen Sonnenlichtes.

---

1) Die 254 Werthe der Tabelle zeigen bei zunehmender objectiver Helligkeit an 10 Stellen keine Zunahme der Lichtstärke, sondern den früheren Werth; an 2 Stellen sogar eine, jedoch nur kleine Abnahme. Diese Ausnahmsfälle finden sich fast nur im Bereiche der geringeren Helligkeiten.

Tabelle XIX.

Gesammthelligkeit der Einzelbezirke des Sonnenspectrums bei verschiedenen Helligkeitsgraden. Die Zahlen sind um's Hundertfache verkleinert.

I.	II.	III.							IV.
Zahl der Rauchgläser	Relative Stärke des Sonnenlichtes [1]	A—B	B—C	C—D	D—E	E—F	F—G	G—H'	Gesammthelligkeit des Spectrums
3 starke	1	—	73	828	1300	425	191	109	[2] 2926
2 st. 3 schw.	2,1	—	180	2169	3565	1027	299	226	[2] 7466
2 st. 2 schw.	5,4	84	461	5082	8440	2333	484	297	17.181
2 st. 1 schw.	13,7	410	914	11.458	19.975	5829	707	467	39.760
2 starke	34,5	760	2210	33.092	35.999	14.976	1768	617	89.422
1 st. 3 schw.	74	2233	2774	68.963	88.803	26.854	6293	963	196.883
1 st. 2 schw.	187	2249	2774	159.486	204.739	59.870	14.817	2177	446.312
1 st. 1 schw.	473	5671	10.181	355.839	509.664	157.716	40.151	4600	1.083.822
1 starkes	1193	13.064	22.227	885.516	1.052 524	352.647	90.096	8301	2.424.375
3 schwache	2575	14.980	54.188	1.026.688	1.952.414	626.566	123.991	18.131	3.816.958
2 schwache	6486	21.369	81.547	—	—	1.613.833	298.981	31.929	—
1 schwaches	16.337	43.790	201.890	—	—	—	792.210	63.495	—
Kein Rauchglas	41.152	146.733	465.750	—	—	—	2.107.954	143.590	—

1) S. Verticalrubrik b der Tabelle 17.

2) Wegen mangelnder Messung der Lichtstärke in A—B ist der Werth etwas zu klein.

Die Messungen wurden, wie bemerkt, derart ausgeführt, dass jeweils nur der zu untersuchende Spectralbezirk und seine nächste Umgebung sichtbar, das übrige Spectrum aber abgeblendet war; das Bild der beweglichen Spalte fiel somit als eigentliches Beobachtungsobject auf den empfindlichsten Bezirk der Netzhaut. Würde der letztere von dem Lichte aller Spectralbezirke zugleich getroffen, so müsste ein Weiss entstehen, dessen Intensität durch die in der Rubrik »Gesammthelligkeit« enthaltenen Zahlen ausgedrückt wird. Das Auge beginnt, wie früher bemerkt, geblendet zu werden, wenn der empfindlichste Netzhautbezirk in einer Ausdehnung, welche der Grösse des von der beweglichen Spalte im Auge entworfenen Bildes ungefähr gleichkommt, von einem Licht afficirt wird, dessen Stärke etwa 10 Millionen unserer Lichteinheiten beträgt. Da die Breite der beweglichen Spalte 10 Scalentheilen (ungefähr $\frac{1}{18}$ der Gesammtbreite des Spectrums) entspricht, so ist die maximale relative Gesammtlichtstärke welche der bezeichnete Retinalbezirk noch aushalten kann, = hundert Millionen Lichteinheiten [1]).

Mit zunehmender Stärke der Lichtgesammtheit nimmt der Intensitätseindruck der Farben auf das Auge ebenfalls zu; jedoch zeigen die Einzelbezirke des Spectrums Abweichungen in diesem Betreff. Die Tabelle 20 giebt die vergleichbaren Helligkeitswerthe der Einzelbezirke des Sonnenspectrums bei den verschiedenen Graden der Gesammthelligkeit. Die Zahlen der Tabelle sind auf ein (durch 2 starke und 2 schwache Rauchgläser) bis 0,0001322 abgeschwächtes Sonnenspectrum bezogen, dessen Helligkeit im Ganzen, sowie in jedem Einzelbezirk = 1 gesezt wird.

---

1) Den Anblick des directen Sonnenlichts verträgt mein Auge noch, wenn es mit 1 starken sammt 2—3 schwachen Rauchgläsern bewaffnet ist, welche das Licht auf $\frac{1}{2\,2\,0}$—$\frac{1}{3\,3\,6}$ schwächen.

Tabelle XX.

Zahl der Rauchgläser vor der Spectroscopspalte	Objective Lichtstärke		A—B	B—C	C—D	D—E	E—F	F—G	G—
3 starke	243	0,18	—	0,16	0,16	0,15	0,18	0,39	
2 st. 3 sch.	525	0,4	—	0,39	0,43	0,42	0,44	0,61	
2 st. 2 sch.	1.322	1	1	1	1	1	1	1	
2 st. 1 sch.	3.329	2,5	4,9	2	2,2	2,4	2,5	1,5	
2 st. —	8.386	6,5	9,0	4,8	6,5	4,2	6,5	3,7	
1 st. 3 sch.	18.120	14	27	6,3	13,6	10,5	11,5	13	
1 st. 2 sch.	45.600	35	27	6,3	31	24	26	30	
1 st. 1 sch.	114.900	88	68	22	70	60	68	83	1
1 st. —	289.600	223	155	48	174	125	151	186	2
3 sch.	625.700	481	178	118	202	231	269	256	6
2 sch.	1.576.100	1191	254	176	—	—	692	618	1(
1 sch.	3.970.000	3003	521	438	—	—	—	1637	21
Kein Rauchglas	10.000.000	7565	1747	1012	—	—	—	4355	4

Da bei einer Abminderung der Liehtstärke des (unter den oben angegebenen Bedingungen hergestellten) Sonnenspeetrums auf 0,157 (zwei schwaehe Rauehgläser) die Bezirke Orange, Gelb und Gelbgrün einen blendenden Eindruck auf das Auge maehen, so können, wenn es sich um die Vergleiehung aller Speetralbezirke handelt, bloss die Werthe der 10 oberen Horizontalreihen der Tabelle benützt werden. Es handelt sieh demnach um Gesammtliehtstärken, deren beide Extreme um das 2578faehe verschieden sind; in Bezirk A—B fehlen leider 2 Bestimmungen, so dass wir diesen vorerst ausser Aeht lassen.

Aus den Zahlen der obigen Tabelle folgt, dass bei einer Steigerung der relativen Gesammthelligkeit 1 (objeetive Helligkeit der ersten Horizontalreihe) auf 2578 (Helligkeit der 10ten Horizontalreihe) die Liehteindrücke in den einzelnen Bezirken des Sonnenspectrums sieh steigern auf:

im Bezirk B—C 738

» » C—D 1262

im Bezirk D—E 1540
» » E—F 1495
» » F—G 656
» » G—H' 165

Die in den Tabellen 17 und 19 zusammengestellten Versuchsergebnisse können zunächst zur Prüfung der Leistungsfähigkeit der Farbenphotometrie dienen. Wird vor die Eintrittsspalte des Spectralapparates ein weiteres Rauchglas gestellt und somit die Lichtstärke des Spectrums entsprechend abgemindert, so wächst der relative Eindruck der Normalflamme derartig, dass das vorher eben unmerklich gewesene Bild der letzteren im Spectrum wieder deutlich wird. Um letzteres von Neuem an die Grenze der Merklichkeit und Nichtmerklichkeit zu bringen, ist eine Abschwächung der Stärke des Normallichtes erforderlich, welche der vorherigen Abminderung der Stärke des Sonnenlichtes entspricht. Sind die Messungen der Lichtstärke in den Einzelbezirken des Spectrums richtig, so muss auch eine annähernde Proportionalität bestehen zwischen den Werthen der Rubrik II. und IV. der Tabelle 19, d. h. zwischen den durch die verschiedenen Rauchgläsercombinationen übrig gebliebenen Helligkeitsgraden des directen Sonnenlichtes und den photometrisch gemessenen Gesammthelligkeitswerthen des ganzen Spectrums. In der nachfolgenden Tabelle sind, in Verticalrubrik a, aus Tabelle 19 die Zahlen der Rubrik II. (relative Stärke des Sonnenlichtes) unverändert aufgenommen, dagegen diejenigen der Rubrik IV., in Verticalrubrik c, derartig berechnet, dass der geringste Werth (292.600 Lichteinheiten) ebenfalls = 1 gesetzt ist; die Zahlen der Rubriken b und c drücken die Lichtstärken aus, wenn die jeweils nächstniedere Lichtstärke = 1 gesetzt wird, d. h. die relativen Wachsthümer von einem Helligkeitsgrad zum andern.

Tabelle XXI.

Sonnenlicht		Gesammtes Spectrum	
Relative Stärke *a*	Proportionale Wachsthumszahl *b*	Relative Stärke *c*	Proportionale Wachsthumszahl *d*
1	—	1	—
2,1	2,1	2,5	2,5
5,4	2,6	5,8	2,3
13,7	2,5	13,7	2,3
34,5	2,5	30,6	2,2
74	2,2	67,4	2,2
187	2,5	153	2,3
473	2,5	371	2,4
1193	2,5	830	2,3
2575	2,2	1307	1,6

Die photometrisch gemessenen Werthe der Gesammthelligkeit des Spectrums wachsen also mit der Zunahme der Stärke des Sonnenlichts, doch so, dass dieselben im Allgemeinen hinter letzterer ein wenig zurückbleiben. Die stärkeren objectiven Helligkeitsgrade des Sonnenspectrums stumpfen die Netzhaut schnell ab, so dass die photometrische Messung für die letzte Horizontalreihe der Tab. 21 einen Helligkeitswerth ergiebt, der hinter der objectiven Helligkeit verhältnissmässig am meisten zurücksteht. Jede Farbe beginnt für mein Auge blendend zu werden, wenn ihr Eindruck den Werth von 10 Millionen unserer Lichteinheiten übersteigt. Die Qualität der Farben ist demnach ohne Einfluss auf die Empfindungsstärke; Gelb macht nur dann den Eindruck einer grösseren Helligkeit als Blau, wenn die Zahl seiner Lichteinheiten grösser ist. Dieses ist nun aber gewöhnlich der Fall; die gelben Pigmente z. B. reflektiren mehr Licht als die blauen und wir sind durch diese Erfahrungen gewöhnt, dem Blau im Allgemeinen einen geringeren Eindruck zuzuschreiben als dem Gelb. An dem entgegengesetzten Ende

der objectiven Reizscala, im Bereich der geringsten Helligkeiten, wächst die empfundene Helligkeit etwas rascher als die objective; dieses ist namentlich der Fall in den, durch ihre Lichtstärke dominirenden, Bezirken C—E. Die absolute Helligkeit in den Bezirken F—G und namentlich G—H' ist in den Horizontalreihen III—VI der Tabelle 17 und in den 4 obersten Horizontalreihen der Tabelle 19 so gering, dass die betreffenden Messungen nur einen beiläufigen Werth haben können. Aus Tabelle 19 geht wohl hervor, dass, von der geringsten Lichtstärke an, mit zunehmender Beleuchtung die Helligkeitseindrücke anfangs in den Spectralbezirken grösster Wellenlänge, bei mittlerer Beleuchtung aber in denen mittlerer Wellenlänge ein etwas rascheres Wachsthum zeigen.

Die optische Intensität der verschiedenfarbigen Strahlen der Sonne, überhaupt eines jeden gemischten Lichtes, nimmt mit zunehmender Intensität des Gesammtlichtes nicht gleichmässig zu; bei einer und derselben Lichtquelle ändert sich also das Verhältniss der Stärke der von ihren Einzelfarben bewirkten Lichteindrücke mit der Veränderung der objectiven Gesammthelligkeit. Setzen wir mit Zugrundlegung der Werthe der Tabelle 19 die Gesammthelligkeit des lichtschwächsten Bezirkes G—H', bei jeder objectiven Helligkeit = 1, so nehmen die Helligkeiten der übrigen Spectralbezirke die in Nachfolgendem verzeichneten Verhältnisswerthe an.

Tabelle XXII.

Lichtstärke des Sonnenlichts		A—B	B—C	C—D	D—E	E—F	F—G	G—H'
243	1	—	0,7	7,6	11,9	3,9	1,8	1
525	2,1	—	0,8	9,6	15,8	4,5	1,3	1
1.322	5,4	0,3	1,6	17,1	29	8,0	1,6	1
3.329	13,7	0,9	2,0	25	43	12,5	1,5	1
8.386	34,5	1,2	3,6	54	58	24	2,9	1
18.120	74	2,3	2,9	72	92	28	6,5	1
45.606	187	1,0	1,3	73	94	28	6,8	1

Lichtstärke des Sonnenlichts		A—B	B—C	C—D	D—E	E—F	F—G	G—H'
114.900	473	1,3	2,2	77	111	34	8,7	1
289.600	1.193	1,6	2,7	107	127	42	10,9	1
625.700	2.575	0,8	2,9	57	108	35	6,8	1
1.576.100	6.486	0,7	2,6	—	—	56	9,4	1
3.970.000	16.337	0,1	3,2	—	—	—	12	1
10.000.000	41.152	1,0	3,3	—	—	—	15	1

Die Tabelle zeigt, dass im Allgemeinen die Einzelbezirke des Spectrums um so geringere Differenzen ihrer Helligkeit bieten, je geringer die Beleuchtung ist; wobei ich freilich auf die oben über die Messungen im Violett und Blau gemachte Bemerkung verweisen muss, welche in den 4—5 ersten Horizontalreihen der Tabelle unsicher sind und den wahren Werth ohne Zweifel übersteigen. Immerhin ist aber sicher, dass die violetten Strahlen — die Thatsache ist im Allgemeinen längst bekannt — gegenüber den übrigen Strahlen in ihrem Eindruck auf unsere Netzhaut ein relatives Uebergewicht bei geminderter objectiver Helligkeit gewinnen. In der ersten Horizontalreihe obiger Tabelle afficiren die Einzelfarben für sich das Auge nur mässig (die Lichtstärke derselben beträgt — s. Tabelle 17, Horizontalrubrik III, — durchschnittlich etwa 2000 Einheiten); würden aber alle Farbenstrahlen den Bezirk der Netzhaut zugleich treffen, der die lebhaftesten Empfindungen vermittelt, so wäre die Gesammtempfindung eine ziemlich starke. In der That ist der Gesammteindruck aller Farben in der achten Horizontalreihe obiger Tabelle nahezu schon ein blendender, also bei einer objectiven Gesammthelligkeit, die nur 473 mal stärker ist, als die geringste Gesammthelligkeit (erste Horizontalreihe der Tabelle). Wenn nun bei der geringsten Lichtstärke der Eindruck des Bezirkes D—E nur etwa 12 mal stärker ist [1]), als

1) Die Differenz würde sich namentlich viel grösser gestalten, wenn statt der Gesammteindrücke beider Spectralbezirke D—E und G—H'

der Eindruck von G—H', während derselbe bei bedeutender Gesammthelligkeit den Eindruck des Bezirkes G—H' um das 127fache übertrifft, so lässt sich wohl vermuthen, dass bei noch stärkerer Abminderung der Gesammthelligkeit der Eindruck des gesammten Violett dem des Gelb und Gelbgrün nahezu gleichkommen kann. Die Photometrie der Einzelbezirke des Sonnenspectrums bei sehr geringen Lichtstärken (unter Anwendung von mehr als 3 starken Rauchgläsern) ist ein so schwieriges und nur bei vielfach wiederholten Messungen zu einem genügenden Ergebniss führendes Unternehmen, dass ich davon abstehen musste.

Die wahre Bedeutung der Einzelfarben des Spectrums bei verschiedenen Helligkeitsgraden wird am Besten ersichtlich, wenn wir deren proportionale Antheile an der Gesammthelligkeit berechnen. Wird die Gesammthelligkeit für jede unserer 10 niedersten objectiven Helligkeitsgrade des Sonnenspectrums = 1000 gesetzt, so drücken die Werthe der Tabelle 23 die Antheile der Einzelbezirke des Spectrums an der Gesammthelligkeit in passenderen Vergleichswerthen als die Zahlen der Tabelle 22 aus.

Tabelle XXIII.

Relative Helligkeit der einzelnen Spectralbezirke bei verschiedener Gesammthelligkeit des Sonnenspectrums.

Relative Helligkeit des Sonnenlichtes	A—B	B—C	C—D	D—E	E—F	F—G	G—H'
1	—	25	284	444	145	65	37
2,1	—	24	291	477	138	40	30
5,4	5	27	296	491	136	28	17
13,7	10	23	288	502	147	18	12
34,5	9	25	370	402	167	20	7
74	12	14	350	451	136	32	5
187	5	6	357	459	135	33	5
473	5	9	328	470	145	37	4
1193	5	11	365	434	145	37	3
2575	4	14	269	512	164	32	5

zwei bestimmte Stellen dieser Bezirke, z. B. die lichtstärkste des Gelb mit irgend einer Stelle im Violett verglichen würde.

Der Bezirk D—E behauptet bei allen, um mehr als das 2500fache variirenden, Helligkeitsgraden das Uebergewicht, mit einem Mittelwerth von 46,4 %; hierauf folgt C—D mit 32 %, sodann E—F mit 14,6 %, ferner F—G mit 3,4 %, B—C mit 1,8 %, G—H' mit 1,2 % und A—B mit 0,6 %.

Die drei lichtstärksten Spectralbezirke C bis F zeigen bei den verschiedenen objectiven Helligkeitsgraden die weitaus geringsten Schwankungen ihrer proportionalen Antheile am Gesammtlichteindruck. Grösser sind die Schwankungen im Bereich des minder brechbaren, am grössten aber in dem des brechbarsten Lichtes. Wird die kleinste Verhältnisszahl in jeder der 7 senkrechten Reihen der Tabelle 23 = 1 gesetzt, so nimmt die grösste Verhältnisszahl folgende Werthe an:

A—B	etwa 3 [1])
B—C	4,5
C—D	1,4
D—E	1,3
E—F	1,2
F—G	3,6
G—H'	12,3

Die Thatsache, dass gerade diejenigen Farbenstrahlen, welche für sich und in ihrer Totalität den weitaus stärksten Helligkeitseindruck machen, bei den verschiedensten objectiven Helligkeitsgraden auch die geringsten Schwankungen in ihrem proportionalen Antheil an dem Gesammteindruck zeigen, ist bedeutungsvoll für unsere Licht- und Farbenempfindungen. Wenn die 3 in dieser Hinsicht constantesten Bezirke C—F mit durchschnittlich nicht weniger als 93 % beim Gesammteindruck wirksam sind, so kommen die mit der objectiven Helligkeit viel stärker variirenden proportionalen Lichteindrücke der übrigen Bezirke verhältnissmässig nur wenig in

1) Dieser Werth ist zu klein, da 2 Messungen im Bereich der geringsten Helligkeit fehlen.

Betracht, wenn es sich um den, dem Weiss naheliegenden, Farbenton des Gesammteindruckes handelt.

Um die proportionalen Antheile, welche die 3 constantesten Bezirke bei den verschiedenen objectiven Helligkeitsgraden des Spectrums an der Gesammthelligkeit haben, noch besser mit einander vergleichen zu können, ist in der nachfolgenden Tabelle die Helligkeit von E—F = 10 gesetzt.

Tabelle XXIV.

Stärke des Sonnenlichts	Relative Helligkeit der Bezirke		
	C—D	D—E	E—F
1	19	30	10
2,1	22	34	10
5,4	22	36	10
13,7	19	34	10
34,5	22	24	10
74	26	33	10
187	27	34	10
473	22	32	10
1.193	25	30	10
2.575	17	31	10

Wenn wir den Totaleindruck aller Strahlen des Sonnenlichts regelmässig als Weiss bezeichnen, obschon das Verhältniss der von den Einzelfarben verursachten Eindrücke bei Abänderung der Gesammthelligkeit sich keineswegs gleich bleibt, so liegen dabei sowohl subjective, wie objective Momente zu Grunde. Die ersteren hat Helmholtz hervorgehoben. Wir sind nämlich gewöhnt, das Sonnenlicht bei Tag als das normale Weiss zu betrachten, also auch dann, wenn z. B. in später Abendzeit, überhaupt geringer Helligkeit, der Antheil der blauen Strahlen verhältnissmässig weniger abnimmt, als der Antheil der gelben und rothen Strahlen. Weiss ist aber eine sehr relative Empfindungsform; wir sind desshalb geneigt, eine schwach gesättigte Farbe im Contrast

mit gesättigten Farbentönen als Weiss oder Weisslich zu bezeichnen. Das gelbliche Bild der beweglichen Spalte meines Spectralapparates erscheint mir neben den gesättigten Farben in einem weiten Bereich des Spectrums annähernd als Weiss.

Der Hauptgrund aber, warum die Lichtgesammtheit von uns als Weiss empfunden wird, ist, wie meine Erfahrungen beweisen, ein objectiver. Wenn das Verhältniss der von den hellsten Bezirken C—F verursachten Lichteindrücke bei ziemlich verschiedenen objectiven Helligkeitsgraden, nach Tab. 24 nur mässige Veränderungen erleidet, so können die grösseren Abänderungen eben dieses Verhältnisses in den übrigen Spectralbezirken nur eine relativ geringe Wirkung haben, weil diese Bezirke zusammengenommen nur in untergeordnetem Grade, nämlich durchschnittlich mit bloss etwa 7 %, am Gesammtlichteindruck Theil nehmen. Die proportionalen Antheile der Einzelfarben differiren übrigens immer noch der Art, dass das, der Gesammtheit der Lichtstrahlen bei verschiedenen Beleuchtungsgraden entsprechende »Weiss« ziemlich verschiedene Farbenanflüge annehmen könnte. Eine grössere Gleichförmigkeit der Empfindung Weiss wird aber dadurch hergestellt, dass die Einzelfarben mit zunehmender Lichtstärke minder gesättigte Farbenempfindungen, d. h. Beimischungen von Weiss, veranlassen. In unseren Messungen der Lichtstärken der Farben sind aber beide Wirkungen der Farben enthalten: die Stärke sowohl des Farbentones, als des beigemischten Weiss. Es ist nun sehr wohl möglich, dass mit variabeler Beleuchtung das Verhältniss der Stärke der Farbentöne weniger schwankt, als das Verhältniss der Gesammthelligkeit (Farbenton + Weiss) der Einzelfarben. Die nächste Aufgabe der Farbenphotometrie wird in der Aufsuchung einer Methode bestehen, welche die Stärke des, den Farben bei verschiedenen Helligkeitsgraden beigemischten, subjectiven Weiss ebenfalls zu messen gestattet.

Ich besitze nur wenige Versuchsreihen, in welchen —

abweichend von dem in diesem §. befolgten Verfahren — nicht etwa ein bestimmter Spectralbezirk bei sehr verschiedenen Helligkeiten, sondern das ganze Spectrum oder doch ein grösserer Bereich desselben, bei einer und derselben, jedoch geringeren Helligkeit, als in den Normalversuchen des §. 9, untersucht worden ist. Die nachfolgenden Messungen wurden am 2. Mai 1869 von 8^h 15′ bis 9^h 30′ angestellt, bei einer Anfangstemperatur von 19° C. und 60 % Luftfeuchtigkeit. Der Himmel war vollkommen rein; das Sonnenlicht wurde (durch 1 starkes und 2 schwache Rauchgläser) auf 0,00456 abgeschwächt. Die Lichtstärken bieten mit denen der 9ten Horizontalreihe der Tabelle 17 (in welcher das Spectrum ebenfalls auf 0,0045 abgeschwächt ist) in der Mehrzahl der Einzelbezirke eine befriedigende Uebereinstimmung.

Tabelle XXV.

Bezirk des Spectrums	Lichtstärke (Sonnenspectrum geschwächt auf $\frac{1}{219}$)	Bezirk des Spectrums	Lichtstärke
A—a	2.300	E—20 F	493.000
a—B	35.900	E 20 F—E 55 F	202.000
B—C	90.600 [1])	E 55 F—E 80 F	90.600
C—C 20 D	90.600	E 80 F—F	80.200
C—C 50 D	228.000	F—F 10 G	35.900
C 50 D—D	493.000	F 10 G—F 20 G	31.800
D—D 33 E	1.243.000	F 20 G—F 40 G	5.800
D 33 E—E	493.000	F 40 G—F 75 G	2.600
		F 75 G—G 25 H′	2.300

Die nachfolgenden Beobachtungen wurden am 21. August 1869 zwischen 8^h—9^h 30′ bei einer Anfangstemperatur von 18,5° C. und 70 % Luftfeuchtigkeit angestellt. Das Sonnen-

1) Dieser Werth ist ohne Zweifel richtiger, als der Werth 35.900 der Tabelle 17.

spectrum wurde mittelst zweier starken Rauchgläser auf 0,00838 abgeschwächt. Die Lichtstärken der Einzelbezirke entsprechen im Allgemeinen den in der 7ten Horizontalreihe der Tabelle 17, bei Anwendung von ebenfalls zwei starken Rauchgläsern erhaltenen Lichtstärken.

Tabelle XXVI.

Sonnenspectrum geschwächt auf $\frac{1}{11900}$.

Bezirk des Spectrums	Lichtstärke	Bezirk des Spectrums	Lichtstärke
C 33 D—C 80 D	80.250	F—F 22 G	5.857
C 80 D—D	202.250	F 22 G—F 44 G	2.627
D—D 46 E	202.250	F 44 G—G	2.325
D 46 E—E	90.690	G—G 20 H′	2.325
E—E 30 F	35.950	G 20 H′—G 60 H′	1.043
E 30 F—E 85 F	31.860	G 60 H′—H′	923
E 85 F—F	14.300	jenseits H′	414

§. 12. Sonnenspectrum bei unreiner Atmosphäre.

Die Abnahme der Lichtstärke des Sonnenspectrums bei geringerer Durchsichtigkeit der Atmosphäre, sowie die Helligkeitsschwankungen des Spectrums, wenn Wolken auch nur in der Nähe der Sonne vorbeigehen, ohne dass sie dieselbe mit einem merklichen Schleier bedecken, lassen sich photometrisch leicht bestimmen. In den Beobachtungen dieses §. ist das Spectrum wiederum auf 0,029 abgeschwächt, auch sind die sonstigen Bedingungen (Weite der Eintrittsspalte u. s. w.) den bei der Beobachtung des Normalspectrums eingehaltenen vollkommen gleich.

Die Messungen der nachfolgenden Tabelle begannen um $7^h\ 40'$ des 22. Juli 1869 (bei 29° C. und 60 % Feuchtigkeit) von E an in der Richtung gegen Violett. Die Luft war sehr dunstig. Um $8^h\ 30'$ wurde bei viel reiner gewordener Luft

auf A zurückgegangen und der Bezirk bis E gemessen. Am Ende der Beobachtung 9^h war die Lichtstärke in E—E 23 F, die um $7^h\ 40'$ bloss = 457.600 betrug, auf fast das Dreifache (1.243.800) gestiegen, so dass sie nur um etwa die Hälfte geringer war, als die Lichtstärke bei vollkommen reiner Atmosphäre.

Tabelle XXVII.

Sonnenspectrum bei variabler Lichtstärke während der Beobachtungszeit.

	Spectralbezirk	Lichtstärke	Spectralbezirk	Lichtstärke
Leichte Wolken in der Nähe der Sonne. Letztere manchmal mit einem dünnen Wolkenschleier bedeckt.	A—a	2.320	E—E 23 F	457.600
	a—a 60 B	6.610	E 23 F—E 50 F	228.500
	a 60 B—B	80.200	E 50 F—F	202.200
Die Luft wird reiner.	B—C	90.600	F—F 25 G	90.600
	C—C 15 D	228.500	F 25 G—F 75 G	35.950
	C 15 D—C 45 D	493.700	F 75 G—G	31.860
	C 45 D—C 75 D	1.100.900	G—G 50 H′	10.760
	C 75 D—D	3.033.800	G 50 H′—G 75 H′	6.610
	D—D 33 E	3.033.800	G 75 H′—H′	2.620
	D 33 E—E	1.000.900	jenseits H′	920

Während der Beobachtungen von E—H′ zeigte demnach die Helligkeit des Sonnenlichtes bloss $\frac{1}{6}$ des Normalwerthes. Die Zahlen entsprechen im Allgemeinen der horizontalen Reihe IX. (1 starkes und 2 schwache Rauchgläser) der Tab. 17. Später, bei Beobachtung von A—E, stieg die Helligkeit bis etwa auf die Hälfte der normalen Lichtstärke.

In den beiden folgenden Beobachtungen im minder brechbaren Bezirk des Sonnenspectrums ist das Sonnenlicht ebenfalls auf 0,029 abgeschwächt.

Tabelle XXVIII.

Bezirk	Lichtstärke			
A—a		5.850		366
a—B		90.690		5.857
B—C		202.200		80.200
	C—C 60 D	457.600	C—C 15 D	202.200
C—D			C 15 D—C 60 D	437.000
	C 60 D—D	2.773.000	C 60 D—D	2.773.000
D—E		2.773.000		2.773.000
	13. Juli 1869 mässiger Höhenrauch. Beginn 10^h 15′ bei 32° C. und 48% Luftfeuchtigkeit.		23. Mai 1869. Kein sichtbarer Wolkenschleier in der Nähe der Sonne. Luft dunstig. Beginn 8^h bei 18° C. und 70% Feuchtigkeit.	

Die Helligkeit des Sonnenspectrums beträgt demnach am 13. Juli ein Drittel bis die Hälfte der normalen Helligkeit. Ein ähnliches Verhalten zeigten am 23. Mai die Bezirke C—E; wogegen in A—C die Helligkeit sehr viel stärker abmindert ist.

Bei den nachfolgenden, an einem Vormittag im Mai (wahrscheinlich am 18ten) bei sehr ungleicher Beschaffenheit der Atmosphäre angestellten vergleichenden Beobachtungen war die Eintrittsspalte des Spectralapparates durch kein Rauchglas verdeckt. Um die photometrischen Werthe mit denen des Normalspectrums §. 9 direct vergleichbar zu machen, mussten dieselben auf $\frac{1}{33}$ ihres beobachteten Werthes reducirt werden. Die eingeklammerten Zahlen drücken die Helligkeit der Spectralbezirke in Bruchtheilen der normalen Helligkeit (§. 9) aus.

Tabelle XXIX.

Lichtstärke:

A—a			$66 = \left(\frac{1}{90}\right)$		$2.293 = \frac{1}{2,5}$
a—B	a 25 B—a 80 B	—	$910 = \left(\frac{1}{90}\right)$	a—a 50 B	— $14.106 = \frac{1}{5,7}$
	a 80 B—B	—	$6.258 = \left(\frac{1}{27}\right)$	a 50 B—B	— $31.454 = \frac{1}{5,5}$
B—C			$14.106 = \left(\frac{1}{17}-\frac{1}{25}\right)$		$79.100 = \frac{1}{3,6}$
C—D	C—C 15 D	—	$31.454 = \left(\frac{1}{32}\right)$	Von C an ist (bei durch kein Rauchglas verlegter Eintrittspalte) das Spectrum blendend bis F.	
	C 15 D—C 30 D	—	$64.943 = \left(\frac{1}{22}\right)$		
	C 30 D—C 60 D	—	$86.666 = \left(\frac{1}{21}\right)$		
	C 60 D—C 75 D	—	$196.600 = \left(\frac{1}{23}\right)$		
	C 75 D—D	—	$225.480 = \left(\frac{1}{26}\right)$		
	7^h 45′ bei 19° C. und 73 % Feuchtigkeit; dunstig, Sonne durch schwaches Gewölke verdeckt.			11^h 10′ Wolken völlig verschwunden.	

G—G 12 H′	—	$2293 = \left(\frac{1}{15}\right)$	G—G 25 H′	—	$14.106 = \left(\frac{1}{2,5}\right)$
G 12 H′—G 75 H′	—	$1027 = \left(\frac{1}{33}-\frac{1}{7,7}\right)$	G 25 H′—G 30 H′	—	$12.490 = \left(\frac{1}{2}\right)$
G 75 H′—G 85 H′	—	$910 = \left(\frac{1}{8,7}-\frac{1}{7,7}\right)$	G 30 H′—G 55 H′	—	$6.528 = \left(\frac{1}{9,2}\right)$
G 85 H′—H′	—	$167 = \left(\frac{1}{30}\right)$	G 55 H′—G 85 H′	—	$2.591 = \left(\frac{1}{5,8}-\frac{1}{2,7}\right)$
			G 85 H′—H′	—	$910 = \left(\frac{1}{5,6}\right)$
8^h 45′ dunstig.			10^h 15′ 27° C. 45 % Feuchtigkeit. Wolken verschwunden.		

Obige Erfahrungen zeigen, dass bei trüber Beschaffenheit der Atmosphäre die Bezirke Roth und Orange eine verhältnissmässig grössere Einbusse ihrer Helligkeit erleiden, als der violette Bezirk, und dass namentlich das äusserste Roth viel mehr geschwächt wird, als die benachbarten brechbareren rothen Strahlen.

Im Winter giebt das Sonnenspectrum geringere Helligkeitswerthe, als im Sommer, die wohl nicht ausschliesslich vom niederen Stande der Sonne abhängen dürften. Die nachfolgende Beobachtung ist am 21. December 1869 angestellt,

von 10^h an bei + 5,6° C. und 73 % Luftfeuchtigkeit und etwas dunstiger Luft.

Tabelle XXX.

	Lichtstärke
A—a	= 2.325
a—B	= 31.860
B—C	= 80.250
C—C 10 D	= 202.250
C 10 D—C 40 D	= 437.000
C 40 D—C 65 D	= 1.100.900
C 65 D—D	= 2.773.000
D—D 8 E	= 2.773.000

Die Lichtstärken betragen von A—C 40 D etwa ein Viertel der normalen Lichtstärken, jenseits C 40 D ein Drittel bis die Hälfte. Abminderung der Lichtstärke aus atmosphärischen Ursachen verringert demnach auch in diesem Fall die Helligkeit des Roth verhältnissmässig mehr, als die des Orange.

§. 13. Spectrum des diffusen Tageslichtes bei vollständig bedecktem Himmel.

Ist der Himmel mit gleichmässigen dichten Wolken vollständig überzogen, welche die Sonne unsichtbar machen, so hat ein grosser Theil derselben anscheinend dieselbe Helligkeit. Merkliche Unterschiede würden sich allerdings ergeben, wenn man je 2 Stellen des Himmels, deren Umgebungen in weitem Umfang abgeblendet sind, mit einander vergleichen würde. Der Spectralapparat war direct auf eine Stelle des östlichen Himmels von 30° Elevation über den Horizont eingestellt. Die Eintrittsspalte hatte dieselbe geringe Breite wie bei den Messungen der Lichtstärke des Sonnenspectrums (§. 9); sie war jedoch, um die Helligkeit des Spectrums nicht allzusehr abzuschwächen, durch kein Rauchglas verlegt. Die Tabellen 31 und 32 geben die photometrischen Werthe, wie

sie direct beobachtet worden sind. Um sie mit denen des Normalspectrums, bei dessen Beobachtung das Licht durch ein starkes Rauchglas abgeschwächt war, zu vergleichen, sind die Zahlen durch 35 (genauer 34,5) zu dividiren. Auch wäre die Schwächung des directen Sonnenlichtes durch die beiden Heliostatenspiegel noch in Rechnung zu bringen, deren Betrag (er ist zudem ein variabeler!) ich nicht näher angeben kann. Die sehr geringe Lichtstärke zwischen A und B, sowie in der Nähe von H′ wurde nicht mehr bestimmt.

Tabelle XXXI.

Spectrum des diffusen Tageslichtes im Frühling und Sommer.

Himmel durch Wolken vollständig bedeckt.

Lichtstärken.

	I. 20. Mai 1869 Anf: 7h 30′ Vormitt. 13°3 C. 90% Feuchtigkeit Ende: 8h 20′. 14° C. 850% Feuchtigkeit		II. 24. Mai Anf.: 3h 15′ 19° C. 50% Feuchtigk. Ende: 4h 10. 18° C. 55% Feuchtigkeit		III. 19. Juni Anf.: 10h 12′ 10°C. 90% Feuchtigk. Ende: 11h 10′ Theilweis schwacher Regen.		IV. 3. Juli 1869 Anf.: 2h 18° C. 90% Feuchtigkeit Ende: 3h Sehr dunkle Wolken. Gegen Ende schwacher Regen.	
B—C	B—B 50 C	67	B—B 50 C	67	B—B 50 C	366	366	
	B 50 C—C	923	B 50 C—C	923	B 50 C—C	923		
C—D	C—C 29 D	1040	C—C 58 D	5850	C—C 28 D	2300	C—C 20 D	923
	C 29 D—C 55 D	6600	C 58 D—C 79 D	13100	C 28 D—C 91 D	5800	C 20 D—C 80 D	5850
	C 55 D—D	13100	C 79 D—D	35900	C 91 D—D	31800	C 80 D—D	6610
D—E	D—D 13 E	14300	D—D 50 E	31800	D—D 42 E	31800	D—D 88 E	6610
	D 13 E—D 46 E	6600	(in einem spätern kurzen Zeitraum bei hellerer Beleuchtung 80200)		D 42 E—D 89 E	13100	D 88 E—E	5850
	D 46 E—E	5800	D 50 E—E	14300	D 89 E—E	5600		
E—F	E—E 88 F	2600	E—E 25 F	14300	E—E 33 F	5600	E—E 40 F	5850
	E 88 F—F	2300	E 25 F—E 50 F	13100	E 33 F—E 78 F	2600	E 40 F—F	923
			E 50 F—E 81 F	5600	E 78 F—F	1043		
			E 81 F—F	2600				
F—G	F—F 17 G	1040	F—F 29 G	1040	F—F 13 G	923	F—F 6 G	923
	F 17 G—F 69 G	414	F 29 G—G	923	F 13 G—F 69 G	366	F 6 G—F 87 G	191
	F 69 G—G	191			F 69 G—G	384	F 87 G—G	169
G—H′	G—G 62 H′	191	G—G 38 H′	360	G—G 57 H′	169	G—G 19 H′	169
			G 38 H′—G 57 H′	200			G 19 H—G 54 H′	30
			G 37 H′—G 86 H′	164			G 54 H′—G 73 H′	26

Diese 4 Beobachtungstage ergeben die nachfolgenden Mittelwerthe:

Tabelle XXXII.

Mittelwerthe aus Tabelle 31.

	Lichtstärke		Lichtstärke
B—B 50 C	216	E 50 F—E 67 F	2.960
B 50 C—C	784	F 67 F—E 78 F	2.931
C—C 20 D	2.528	E 78 F—E 81 F	2.541
C 20 D—C 29 D	3.760	E 81 F—E 88 F	1.790
C 29 D—C 51 D	6.215	E 88 F—F	1.716
C 51 D—C 79 D	9.452	F—F 6 G	981
C 79 D—C 91 D	15.352	F 6 G—F 13 G	798
C 91 D—D	21.850	F 13 G—F 17 G	659
D—D 13 E	21.127	F 17 G—F 29 G	503
D 13 E—D 42 E	19.202	F 29 G—F 69 G	474
D 42 E—D 46 E	14.527	F 69 G—F 87 G	422
D 46 E—D 50 E	14.328	F 87 G—G	417
D 50 E—D 89 E	9.952	G—G 19 H′	222
D 89 E—E	7.887	G 19 H′—G 38 H′	187
E—E 25 F	7.087	G 38 H′—G 54 H′	149
E 25 F—E 33 F	6.787	G 54 H′—G 57 H′	146
E 33 F—E 40 F	6.037	G 57 H′—G 86 H′	132 [1]
E 40 F—E 50 F	4.835		

Das Verhältniss der Gesammthelligkeiten der einzelnen Spectralbezirke wird aus dem Nachfolgenden ersichtlich.

Tabelle XXXIII.

Spectrum des diffusen Tageslichtes im Frühjahr und Sommer bei vollständig bedecktem Himmel.

	Diffuses Tageslicht		Sonnenspectrum	
	in Lichteinheiten	in Vergleichswerthen	geschwächt auf $\frac{1}{3\,5}$ (Tab. 15)	geschwächt auf 0,0000243 (3 starke Rauchgläser)
B—C	3.450	= 0,0090	0,017	0,056
C—D	180.265	= 0,4802	0,666	0,637
D—E	375.358	= 1	1	1
E—F	111.596	= 0,2973	0,385	0,327
F—G	24.115	= 0,0642	0,079	0,147
G—H′	5.480	= 0,0146	0,0077	0,084
Summe:	700.264			

1) Bloss ein Beobachtungstag. Die directe, unreducirte Zahl ist 73—86

Im diffusen Tageslicht des trüben Himmels ist demnach die Helligkeit verhältnissmässig am stärksten gemindert in den Bezirken B—C und A—B (deren Lichtstärke wegen ihrer geringen Intensität gar nicht gemessen wurde); weniger in C—D und E—G, während die relative Helligkeit in G—H' im Vergleich zum Sonnenspectrum sogar zugenommen hat.

Die direct beobachteten Helligkeitswerthe unseres Spectrums müssen, um sie mit denen des Normalsonnenspectrums vergleichbar zu machen, wie erwähnt, mit 35 dividirt werden. Demnach beträgt die Gesammthelligkeit unseres Spectrums $\frac{700264}{35}$ = 20.000 Lichteinheiten, also über 12000 mal weniger als die Gesammthelligkeit des Normalsonnenspectrums, welche sich (s. Tabelle 19) auf 242 Millionen Lichteinheiten beläuft [1]). Wird die Gesammthelligkeit = 1000 gesetzt, so kommen auf die einzelnen Spectralbezirke folgende Antheile. Zur Vergleichung sind die entsprechenden Werthe des Normalsonnenspectrums (neunte Horizontalreihe der Tabelle 23), sowie diejenigen des durch 2 starke und 3 schwache Rauchgläser abgeschwächten Sonnenspectrums (zweite Horizontalreihe derselben Tabelle) beigesetzt. Die Gesammthelligkeit des letzteren Spectrums beträgt nämlich 746600 Lichteinheiten (s. Tab. 19), also ungefähr soviel, wie die direct beobachtete Gesammthelligkeit des hier in Rede stehenden Spectrums.

Tabelle XXXIV.

Proportionale Helligkeit der Einzelbezirke des Spectrums des diffusen Tageslichtes bei vollständig bedecktem Himmel.

	Diffuses Tageslicht	Sonnenspectrum geschwächt auf	
		0,0289	0.000052
B—C	5	11	24
C—D	257	365	291
D—E	536	434	477
E—F	160	145	138
F—G	34	37	40
G—H'	8	3	30

1) Der Unterschied ist noch grösser, da das Sonnenspectrum durch die 2 Heliostatenspiegel eine weitere Schwächung erfährt.

In dem Spectrum des von dichten grauen Wolkenschichten geschwächten und zerstreuten Sonnenlichtes ist demnach wiederum, wie im Sonnenspectrum, der Bezirk D—E der lichtstärkste; die dieser Region angehörenden, auf das Auge vorzugsweis wirkenden, Lichtstrahlen werden sogar verhältnissmässig am wenigsten geschwächt. Dagegen wird die Helligkeit der Bezirke B—D in diffusem Tageslicht mehr abgeschwächt, als die entsprechenden Bezirke des Sonnenspectrums durch die Rauchgläser abgeschwächt werden. Die Bezirke E—G zeigen in beiden Fällen keinen wesentlichen Unterschied; wogegen in G—H' bei starken Rauchgläsercombinationen das Sonnenlicht weniger geschwächt ist als das diffuse Tageslicht.

Die folgende Messung der Lichtstärke des diffusen Tageslichtes wurde an einem trüben Wintertage angestellt. Graue gleichartige Wolken bedeckten den Himmel vollständig und machten die Sonne unsichtbar. Die Versuchsbedingungen sind denen der Tabelle 31 gleich; nur musste die Eintrittsspalte für das Licht, um die Intensität desselben nicht allzusehr zu schwächen, erheblich erweitert werden. Ihre Breite betrug 0,205 Millim., also 4 mal mehr als in den obigen Beobachtungen. Die direct gemessenen Lichtstärken sind demnach, wenn sie mit dem Normalsonnenspectrum verglichen werden sollen, mit 35 (wegen mangelnden Rauchglases) und mit 4 (wegen grösserer Eintrittsspalte) zu dividiren. Zunächst kommt es nur darauf an, die Lichtstärken der nachfolgenden Tabelle mit denen der Tabellen 31 und 32 zu vergleichen, so dass die direct gefundenen Lichtstärken mit 4 dividirt in die Tabelle 35 aufgenommen sind. In den lichtschwächsten Bezirken benützte ich, um den Punkt des Verschwindens des Lichtes der Normalflamme genauer zu messen, auch veränderliche Weiten der Eintrittsspalte. Vor B war die Lichtstärke kaum mehr bestimmbar.

Tabelle XXXV.

Spectrum des diffusen Tageslichtes am 20. Jan. 1870. Beobachtet von 9^h—10^h 45′ bei einer Anfangstemperatur von 5° C. und 82 % Feuchtigkeit.

	Lichteinheiten	Helligkeit der Bezirke in Lichteinheiten	Helligkeit der Bezirke in Vergleichswerthen	Helligkeit der Einzelbezirke, die Gesammthelligk. = 1000
B—C	B—B 88 C 65 B 88 C—C 529	832	0,009	4
C—D	C—C 35 D 1334 C 35 D—D 4530	70.957	0,725	326
D—E	D—D 57 E 4530 D 57 E—E 2620	97.910	1	450
E—F	E—E 11 F 2620 E 11 F—E 33 F 2096 E 33 F—E 55 F 1213 E 55 F—F 832	34.764	0,355	159
F—G	F—F 21 G 330 F 21 G—F 48 G 250 F 48 G—F 75 G 275 F 75 G—G 143	11.649	0,119	53
G—H′	G—G 35 H′ 61 G 35 H′—G 60 H′ 30 G 60 H′—G 83 H′ 24 G 83 H′—H′ 14	1.630	0,017	8

Summe: 217.742

Die Gesammthelligkeit des Spectrums des diffusen Tageslichtes ist also in diesem trüben Wintertag um $\frac{1}{3,2}$ geringer als in den trüben Sommertagen der vorhergehenden Beobachtungen. Die Bezirke C—F boten, direct mit einander verglichen, dem Auge keine bestimmten Helligkeitsunterschiede, obschon die photometrischen Bestimmungen Differenzen um das Sechsfache erwiesen. Die Verschiedenheit der Farbentöne macht bei solchen schwachen Spectren jede directe Vergleichung der Lichtstärken zur Unmöglichkeit. Die relativen Gesammthelligkeitswerthe der Einzelbezirke bieten ge-

ringere Abweichungen von denen des Sonnenspectrums als in Tabelle 33; namentlich ist die Helligkeit im Bezirk C—D viel weniger abgemindert. In den brechbarsten Regionen bieten nicht bloss G—H', sondern auch F—G einen grösseren proportionalen Helligkeitswerth als die entsprechenden Bezirke des Normalsonnenspectrums. Dagegen zeigt das durch 3 starke Rauchgläser auf 0,000024 geschwächte Sonnenspectrum in F—H' (Tab. 33) eine grössere proportionale Helligkeit als das in Rede stehende Spectrum; woraus wohl gefolgert werden muss, dass extremstarke Rauchgläsercombinationen, welche ein Sonnenspectrum herstellen, dessen Gesammtlichtstärke unserem Spectrum des diffusen Tageslichtes ungefähr gleich ist, die blauen und violetten Strahlen verhältnissmässig weniger abschwächen.

Diese wenigen Beobachtungsreihen — im Ganzen bloss 5 — über das Spectrum des diffusen Tageslichtes bei totaler Bewölkung können, gegenüber der grossen Variabilität der Stärke dieses Lichtes, keinen weiteren Anspruch machen, als zu vorläufigen Anhaltspunkten in dieser Frage zu dienen.

§. 14. Spectrum des diffusen Tageslichtes in den verschiedenen Tagesstunden.

Wenn die photometrischen Messungen im Verlauf des Tages vielfach wiederholt werden sollen, um die Abhängigkeit der Stärke des Tageslichtes vom Stand der Sonne zu prüfen, so muss man sich nothwendigerweise jeweils nur auf einen oder wenige Bezirke des Spectrums beschränken. Die Versuchsbedingungen waren dieselben, wie im vorhergehenden §., nur die Breite der Eintrittsspalte wurde zum Theil abgeändert. In Reihe A der nachfolgenden Tabelle wurden jedesmal 3 verschiedene Spaltweiten von 0,0514 — 0,1028 und 0,2056 Millimeter angewandt (also Lichtstärken im Verhältniss 1 : 2 : 4). In Reihe B und C betrug die Spaltweite

constant 0,205 M.m. Die photometrischen Werthe der Tabelle sind, um sie mit denen des vorigen §. vergleichbar zu machen, auf eine Spaltweite von 0,054 M.m. reducirt. Um dieselben mit denen des Sonnenspectrums zu vergleichen, müssten sie (was jedoch unterlassen wurde) wegen des nicht angewandten Rauchglases mit 35 dividirt werden. Die Sonne war bei den meisten Einzelbeobachtungen unsichtbar und der Himmel von grauen Wolken gleichmässig überzogen; vorübergehende Ausnahmen sind an den betreffenden Stellen angemerkt. Die beobachtete Stelle des Himmels war übrigens, auch in den Fällen, wo einzelne wolkenlose Bezirke vorübergehend zum Vorschein kamen, immer mit Wolken überzogen. In den Reihen C und D wurden die Intensitätswerthe mit Zuhülfenahme von kleinen Veränderungen der Weite der Eintrittsspalte schärfer bestimmt. In Reihe A, B, C wurde ein Theil des Gelb und Grüngelb, in D eine Stelle im Blau gemessen.

Tabelle XXXVI.

Spectrum des diffusen Tageslichtes an trüben Wintertagen.

A. 16. Januar 1870.		B. 17. Januar 1870. Schneefall in vorhergehender Nacht.		C. 18. Januar 1870. Schneefall in vorhergehender Nacht.		D.
Spectral: Bezirk:	D—D 20 E		D—D 20 E		D—D 20 E	F—F 20
8h 25' +4° C. 95% Hygr.	475	8h 25' + 1 C. 90 Hygr	654	8h 10' 0° C. 92 Hygr.	657	366
9h	531					
9h 30' Sonne schwach sichtbar.	2648	9h 20'	2692	9h 10' 0° C. 89Hygr Mässiger Schneefall Sonne schwach sichtbar.	3047	1043
10h 15'	3170	10h 10' + 1,8 C. 88 Hygr.	3575	10h 10' Schneefall.	4597	1926
10h 45' Snnne schwach sichtbar; einige kleinc blaue Stellen am östlichen Himmel.	6402					
11h 15' + 6,2 C. 85% Hygr.	4247	11h 20'	7965	11h 10' + 0,4 C. 90 Hygr. Schneefall.	7521	332
11h 30' Sonne dringt plötzlich durch. Mehrere blaue Stellen.	17440					
12h	7244	12h	7965	12h 10' + 0,5 C. 86 Hygr.	3625	236
12h 20'	7244	12h 55' + 2,5 C. 88 Hygr. etwas Schneefall.	3575			
1h	7244	1h 50'	3575	1h	2419	209
2h	2749	2h 45' + 1,5 C. 87 Hygr. etwas Schnee mit Regen untermischt.	1654	2h etwas Schneefall.	2074	13
3h 30' + 5,5° C. 80% Hygr.	1297	3h 20'	1464	2h 45' + 0,2° C. 88 Hygr.	1441	12
		3h 45' (1,20 C. 84 Hygr.)	657			
4h	521	4h	657	3h 15'	481	3
4h 30' Sonnenuntergang.	208			3h 50' 0° C. 88 Hygr.	218	1
4h 50'	96					
5h 10'	Lichtstärke nicht mehr messbar. Der hellste Bezirk ist jetzt D 50 E-F 25 G.	5h	Region D—D 20 E hat den Farbenton verloren. Im Grunblau noch Farbe mit 42 Lichtstärke.	5h	Kaum noch ein Farbenton im Gelb.	
		Bewölkung an diesem Tag möglichst gleichmässig. Die Sonne den ganzen Tag über unsichtbar.				

Vorübergehende Helligkeitszunahmen des diffusen Tageslichtes, namentlich in Reihe A um $10^h\ 45'$ und $11^h\ 30'$, welche auf mein Auge keinen sehr merkbaren Eindruck machten, sind mit einem erheblichen Steigen der photometrischen Werthe verbunden.

Die Lichtstärke steigt im Bezirk D von Sonnenaufgang an allmälig bis zur Mittagszeit und sinkt von der zweiten Nachmittagsstunde an. Die maximale Licktstärke zur Mittagszeit ist bloss 11—15 mal grösser als die Lichtstärke $\frac{1}{2}$ Stunde nach Sonnenaufgang; auch zeigt die Lichtstärke im Gelb, $\frac{1}{2}$ Stunde nach Sonnenaufgang, ungefähr denselben Werth wie $\frac{1}{2}$ Stunde vor dem Untergang.

Im blauen Bezirk des Spectrums bietet die Lichtstärke im Allgemeinen dasselbe Verhalten; doch bewahren die brechbareren Spectralbezirke auch hier die characteristische Eigenschaft, die wir bei früheren Gelegenheiten kennen lernten, d. h. bei abnehmender Gesammthelligkeit nimmt die Stärke des blauen Lichtes verhältnissmässig weniger ab, als die des gelben. In den hellsten Beobachtungsstunden des 18. Januar ($9^h\ 10'$—$11^h\ 10'$) ist die Lichtstärke des Gelb 2,3 bis 3 mal grösser als die des Blau; während sie in den weniger hellen Tagesstunden bloss 1,6—1,2 mal stärker ist. Nach Sonnenuntergang ergiebt Blau noch einen Farbenton mit 22 Lichteinheiten, während Gelb kaum noch einen Farbenton und eine nicht mehr messbare Intensität zeigt.

§. 15. Spectrum der Petroleumflamme.

Die Kenntniss der Lichtstärke dieses Spectrums ist für die Farbenphotometrie von besonderer Bedeutung, weil die Petroleumflamme in zahlreichen anderen Versuchen, namentlich bei den Messungen der lichtabsorbirenden Kraft durchsichtiger Medien, bei gehöriger Vorsicht als leidlich constante,

jedenfalls aber als die bequemste Lichtquelle benützt werden kann.

Ueber die zu den nachfolgenden Versuchen benützte Flamme ist schon Seite 11 das Nöthige bemerkt; der Abstand derselben von der Eintrittsspalte des Spectralapparates betrug 55 Millimeter; die Weite der Eintrittspalte 0,23 M.m.

In 5 Versuchsreihen wurde das ganze Spectrum photometrisch gemessen; dazu kommen noch verschiedene, bei anderen Gelegenheiten vorgenommene Bestimmungen einzelner Regionen dieses Spectrums. Die für dieselbe Stelle des Spectrums gefundenen Lichtstärken variiren nicht stärker, zum Theil sogar weniger, als diejenigen des Sonnenspectrums der Tabelle 12. Statt alle Einzelbestimmungen im Detail wiederzugeben, beschränke ich mich auf die Mittelwerthe aus sämmtlichen Versuchsreihen, bezüglich deren Berechnung dasselbe gilt, was Seite 48 bemerkt worden ist. Die Localitäten dieses und anderer continuirlichen Spectren sind ebenfalls auf die grossen Fraunhofer'schen Linien des Sonnenspectrums bezogen. Jenseits A und H' wurden keine Messungen angestellt.

Tabelle XXXVII.

Spectrum der Petroleumflamme.

	Lichteinheiten		Lichteinheiten		Lichteinheiten
A—A 11 a	730	C 10 D—C 20 D	284.000	E 52 F—E 63 F	71.000
A 11 a—A 33 a	2.760	C 20 D—C 35 D	404.500	E 63 F—E 78 F	36 200
A 33 a—A 50 a	5.960	C 35 D—C 55 D	561.900	E 78 F—F	37.040
A 50 a—A 75 a	6.340	C 55 D—C 65 D	770.500	F—F 19 G	14.100
A 75 a—a	7.059	C 65 D—C 75 D	837.000	F 19 G—F 30 G	12.770
a—a 12 B	12.530	C 75 D—D	875.100	F 30 G—F 39 G	4.615
a 12 B—a 40 B	16.530	D—D 8 E	873.400	F 39 G—F 50 G	3.740
a 40 B—a 50 B	17.200	D 8 E—D 27 E	752.100	F 50 G—F 61 G	3.239
a 50 B—a 62 B	26.600	D 27 E—D 40 E	557.900	F 61 G—F 69 G	2.378
a 62 B—a 90 B	41.600	D 40 E—D 46 E	375 800	F 69 G—F 80 G	1.140
a 90 B—B	53.240	D 46 E—D 79 E	359.500	F 80 G—F 91 G	1.000
B—B 22 C	94.260	D 79 E—E	258.000	F 91 G—G	656
B 22 C—B 66 C	112.500	E—E 15 F	141.200	G—G 35 H'	515
B 66 C—B 80 C	141.200	E 15 F—E 26 F	129.900	G 35 H'—G 63 H'	278
B 80 C—C	164.440	E 26 F—E 39 F	117.200	G 63 H'—G 90 H'	224
C—C 10 D	181.800	E 39 F—E 52 F	84.700	G 90 H'—H'	174

Für die Gesammthelligkeit der Hauptbezirke des Spectrums der Petroleumflamme ergeben sich demnach die in nachfolgender Tabelle verzeichneten Werthe.

Tabelle XXXVIII.

Gesammthelligkeit der Einzelbezirke des Spectrums der Petroleumflamme in Lichteinheiten.

A—a [1])	34.848	A—B 228.158	= 0,018
a—B	193.310		
B—C		848.653	= 0,067
C—D		12.462.528	= 0,988
D—E		12.686.361	= 1
E—F		2.077.620	= 0,164
F—G		271.467	= 0,021
G—H'		15.232	= 0,0012

Im Vergleich mit den Spectren des Sonnen- und des diffusen Tageslichtes zeigt das Spectrum der Petroleumflamme ein verhältnissmässiges Ueberwiegen der Helligkeit in den minder brechbaren Bezirken. Die maximale Gesammthelligkeit fällt zwar auch in die Region D—E; doch steht derselben der Werth von C—D nur um so wenig nach, dass der kleine etwaige Unterschied durch die gegebenen Hülfsmittel der Messung nicht einmal nachgewiesen werden könnte. B—C zeigt eine 4 mal und A—B eine 2 mal grössere relative Helligkeit als die entsprechenden Bezirke des Sonnenspectrums; dagegen ist die relative Helligkeit in E—F über 2 mal, in F—G fast 40 mal, in G—H' 8 mal geringer als im Sonnenspectrum.

Die Helligkeitsantheile der Einzelbezirke des Spectrums der Petroleumflamme an der Gesammthelligkeit ergeben demnach erhebliche Abweichungen von denen des Sonnenspectrums. Zur Vergleichung füge ich in Tab. 39 die entsprechenden proportionalen Helligkeiten des Sonnen-

1) Ueber die Breite der Bezirke s. Tabelle 15.

speetrums bei und zwar unter a) die S. 70, Zeile 1 angegebenen entsprechenden Mittelwerthe aus den allerverschiedensten Helligkeiten des Sonnenspeetrums; unter b) die für das, auf $\frac{1}{3}\frac{1}{3}$ abgeschwächte, Normalsonnenspeetrum erhaltenen Zahlen (aus der neunten Horizontalreihe der Tabelle 23) und unter e) die an dem, auf 0,0018 abgesehwächten Sonnenspeetrum erhaltenen Zahlen (aus der seehsten Horizontalreihe der Tabelle 23). Die Gesammthelligkeit dieses Speetrums steht nämlieh (s. Tabelle 19) mit nahezu 20 Millionen Liehteinheiten der $28\frac{1}{2}$ Mill. Einheiten betragenden Gesammthelligkeit unseres Petroleumflammenspeetrums noeh am näehsten.

Tabelle XXXIX.

Helligkeitsantheile der Einzelbezirke des Speetrums der Petroleumflamme an der zu 10000 angenommenen Gesammthelligkeit.

	Speetrum der Petroleumflamme	Spectren des Sonnenlichts		
		a	b	c
A—B	80	60	50	120
B—C	297	180	110	140
C—D	4359	3200	3650	3500
D—E	4437	4640	4340	4510
E—F	727	1460	1450	1360
F—G	95	340	370	320
G—H′	5,3	120	30	50

Während die Helligkeitsantheile im Bezirk D—E bei der Petroleumflamme und dem Sonnenspectrum nieht wesentlich differiren, ist die Petroleumflamme in den Regionen C—B (unter Umständen aueh in A—B) bevorzugt; in den Regionen E—G, noeh mehr aber in G—H′ erheblich im Nachtheil.

Die Summirung der Helligkeitswerthe der Tabelle 38 ergiebt für die Gesammthelligkeit des Spectrums der Petroleumflamme 28.590.000 Liehteinheiten. Um diese Zahl mit der scheinbaren Gesammthelligkeit des Normalsonnenspeetrums

zu vergleichen, muss sie mit 4,51 (wegen der, um diesen Betrag breiteren Eintrittsspalte bei den Beobachtungen an der Petroleumflamme) und mit 35 (der lichtschwächenden Wirkung des bei dem Normalsonnenspectrum angewandten starken Rauchglases), also mit 158 dividirt werden. Die mit der Helligkeit des Sonnenspectrums vergleichbare Helligkeit des Spectrums der Petroleumflamme beträgt dann 180.950 Einheiten, d. h. letzteres Spectrum ist, bei dem oben angegebenen Abstand der Petroleumflamme von der Eintrittsspalte des Spectralapparates, 1244 mal schwächer als das auf analoge Bedingungen reducirte Spectrum des Sonnenlichtes. Diese Zahl ist, da das Licht der Petroleumflamme direct in den Spectralapparat fiel, noch um denjenigen Werth zu klein, um welchen die 2 Heliostatenspiegel das Sonnenlicht schwächen. Bouguer [1]) schätzte die scheinbare Stärke des Sonnenlichts gleich dem Lichte von 5500 Kerzen auf 1 Fuss Abstand.

Das Spectrum der Petroleumflamme (bei 0,23 M.m. Spaltweite und den in diesem §. angegebenen sonstigen Versuchsbedingungen) beginnt vor A und erstreckt sich über H'. Die äusserste rothe Grenze zeigt einen Abstand von A, welcher dem Abstand A—a gleich ist; während das Violett sich jenseits H' über einen Raum erstreckt, der etwa der Hälfte des Abstandes G—H' entspricht. Auf eine Bestimmung der geringen Lichtstärke vor A und jenseits H' musste ich verzichten.

Die Rauchgläser, welche zur Schwächung dieses Spectrums verwendet wurden, mindern die Stärke der verschiedenen Farben eines gemischten Lichtes in gleichmässiger Weise; da aber die violetten und selbst die blauen Farbenstrahlen des Petroleumlichtes eine verhältnissmässig geringe Intensität von vornherein zeigen, so wird durch die allmälige Abschwächung dieses Spectrums die Ausdehnung der violetten und

1) S. Eisenlohr's Physik. 10. Auflage. Seite 262.

blauen Bezirke viel mehr beeinträchtigt, als die des rothen Bezirkes. Wird schliesslich das Spectrum durch eine Anzahl starker Rauchgläser an die Grenze der Sichtbarkeit gebracht, so bleiben nur noch die Bezirke C 90 D—D 30 E und D 50 E—E 26 F (b Fraunhofer's) übrig; der erste zeigt ein kaum merkliches Roth [1]); während der zweite seinen ursprünglich grünen Farbenton mit einem eben noch merklichen »Blau« für mein Auge vertauscht hat.

Das durch successiv zugelegte Rauchgläser abgeschwächte Spectrum zeigt etwa folgende Ausdehnungen:

Tabelle XL.

Lichtstärke des Spectrums der Petroleumflammme; die ursprüngliche Lichtstärke = 10 Millionen		Grenzen des Spectrums	
1 starkes Rauchglas	289.600	vor A—H'	Das äusserste Roth jenseits A zeigt einen Abstand von A, der $\frac{5}{8}$ des Abstandes A–a gleich ist.
2 starke Rauchgläser	8.386	A 12 a—H'	
2 starke und 1 schwaches Rauchglas	3.329	A 37 a—G 74 H'	
2 starke und 2 schwache Rauchgläser	1.322	A 37 a—G 74 H'	
2 starke und 3 schwache Rauchgläser	525	A 37 a—G 20 H'	
3 starke Rauchgläser	243	a—F 50 G	Dieses Spectrum ist schon so lichtschwach, dass es im Contrast mit dem vollen Normallicht gänzlich verschwindet, wenn z. B. das Bild der beweglichen Spalte auf B–C 15 D eingestellt wird.
4 starke Rauchgläser	7,03	a 25 B—E 63 F	
4 starke Rauchgläser und 1 schwaches	2,8	C 40 D—E 55 F	
4 starke Rauchgläser und 2 schwache	1,1	C 90 D—E 26 F	Letzter Rest eines „rothen" und „blauen" Farbentons.

Bei grosser Abminderung der Lichtstärke treten ausserdem Absorptionsstreifen an gewissen Stellen dieses Spectrums

1) Den grünen Saum zwischen D und D 30 E konnte ich neben dem »Roth« nicht wahrnehmen.

auf. Wird die Petroleumflamme durch 2 starke Rauchgläser geschwächt, so wird zwischen D 11 E—D 50 E das Grün etwas »dunkler« [1]). Die bemerkenswertheste Farbenabsorption entsteht aber im Bezirk B—D; das Absorptionsband zeigt bei zunehmender Schwächung des Spectrums folgende Ausdehnung:

1) 2 starke Rauchgläser: von B 44 C—C 40 D (schwaches Absorptionsband);

2) 3 starke Rauchgläser: B 22 C—C 55 D (starkes Absorptionsband);

3) 4 starke Rauchgläser: ungefähr dieselben Grenzen.

4) 4 starke und 2 schwache Rauchgläser: das Absorptionsband hat keine linke Grenze mehr, indem die Farben bis C 90 D ausgelöscht sind, welche Stelle demnach die nunmehr erweiterte rechte Grenze des Absorptionsbandes darstellt.

Die ursprünglich lichtschwächere Region vor B 44 C, resp. B 22 C erscheint also noch roth, beziehungsweise braunroth, während der ursprünglich lichtstärkere und bei gehöriger Beleuchtung rothe Bezirk des Absorptionsstreifens im Contrast mit dem Roth der einen und dem Orange und Gelb der andern Seite »schwärzlich« erscheint. Blendet man das (durch 2 starke Rauchgläser geschwächte) Spectrum auf der rechten Seite des Absorptionsstreifens (also von Orange, Gelb u. s. w. an) ab, so zeigt der Streif wieder einen rothbraunen Farbenton, dessen Roth dem Eindruck des rothen Bezirks vor B 44 C nicht viel nachsteht. Durch Abblendung des Roth an der linken Grenze des Absorptionsstreifens gewinnt dagegen der Streifen, wegen des stärkeren Contrastes mit dem Orange jenseits C 40 D, weniger an Farbenton.

Das Auftreten der Absorptionsstreifen beweist keineswegs, wie man auf den ersten Anblick vermuthen könnte und bis-

1) Die Grenzen der durch die verschiedenen Medien erzeugten Absorptionsstreifen sind in der Regel bekanntlich nicht so scharf, um mit vollständiger Genauigkeit bestimmt werden zu können.

her in der That bei den, durch andere Medien erzeugten Absorptionsstreifen, stillschweigend angenommen hat, dass die Rauchgläser die Lichtstärke des Bezirkes B 44 C—C 40 D, resp. B 22 C—C 55 D relativ viel stärker schwächen, als die Lichtstärke der farbigen Nachbarbezirke diesseits B 22 C und jenseits C 55 D. Meine photometrischen Messungen haben mir das auffallende Resultat ergeben, dass die Lichtstärke im Bereich des Absorptionsbandes, trotz des schwachen oder selbst gar nicht vorhandenen Farbeneindrucks, welchen dasselbe auf das Auge macht, nicht merklich geringer ist, als in dem benachbarten sichtbaren Roth. Wird das Spectrum durch 3 starke Rauchgläser auf $\frac{1}{4\,1\,6\,6}$ geschwächt, so beträgt die Lichtstärke im Bereich des Absorptionsbandes, wie in dem rothen Bezirke vor dem Band (zwischen B und B 22 C) 26 Lichteinheiten; d. h. es waren 3 starke und 3 schwache Rauchgläser erforderlich, um in der Region B—C 55 D das Weiss des Normallichtes zum Verschwinden zu bringen. Wurde das Normallicht bloss durch 3 starke Rauchgläser geschwächt (243 Lichteinheiten), so konnte ein rother Farbeneindruck vor B 22 C im Bereich des Bildes der beweglichen Spalte nicht bemerkt werden und das Normallicht erschien gleichmässig grau in der Region des Absorptionsbandes, wie in dem an sich rothen Bezirke B—B 22 C.

§. 16. Spectrum der Steinkohlengasflamme.

Swan hat eine ausführliche Beschreibung [1]) des lichtschwachen Spectrums der bläulichen Heizflamme des Bunsen'schen Gasbrenners gegeben. Dieses Spectrum erstreckt sich vom brechbarsten Orange in der Nähe von D bis wenig über G.

1) Poggendorf's Annalen der Physik. 1857. Bd. 10. S. 320.

Um den von Swan beschriebenen 4 characteristischen hellen Linien zwischen D und G eine gehörige Lichtstärke und Breite zu geben, wandte ich eine Eintrittsspalte von 0,23 M.m. an. Die Flamme stand von der Spalte 55 M.m. ab.

Die unvermeidliche gelbe Linie bei D, welche dem Spectrum der Leuchtgasflamme an sich nicht angehört, ist von so veränderlicher Lichtstärke, dass die Messung der letzteren bedeutungslos wäre; ihre Intensität mindert erheblich den Eindruck des benachbarten Orange, das ausserordentlich lichtschwach erscheint. Jenseits D beginnt ein grünliches, später bläuliches Spectrum, dessen Intensität in der nächsten Nähe von D ungefähr 169 und zwischen E—F 30 Lichteinheiten beträgt. Das erste helle Band liegt zwischen D 35 E—D 50 E; die Lichtstärke desselben ist nur wenig grösser als die der Umgebung. Das zweite Band, das hellste von allen, reicht von E 26 F (b Fraunhofer's) bis E 41 F. Ihre scheinbar nicht unbedeutende Lichtstärke rührt grossentheils davon her, dass das Grün gesättigter ist als das schwärzliche Grün der Umgebung; die Lichtstärke derselben, mit 169 Einheiten, übertrifft somit die der Umgebung nur um das 5—6 fache. Das dritte, viel schwächere Band liegt zwischen F 21 G—F 58 G; das vierte, bei G befindliche, macht wiederum einen helleren Eindruck, jedoch nur im Contrast zu der minimalen Lichtstärke jenseits G.

Bei der Bestimmung der Lichtstärke der hellen Spectrallinien, welche Metalle, die in der Bunsen'schen Heizflamme verbrennen, erzeugen, ist unter Umständen die Helligkeit der oben genannten 4 Kohlenwasserstofflinien zu berücksichtigen.

Die nachfolgende Tabelle giebt die Lichtstärke der Einzelbezirke des Spectrums der hellen Leuchtflamme des Bunsen'schen Gasbrenners, welches unter den oben erwähnten Nebenbedingungen untersucht wurde. Dasselbe beginnt bei A 50 a und reicht etwa bis G 50 H'.

Tabelle XLI.

Spectrum der Bunsen'schen Leuchtflamme.

	Lichteinheiten		Lichteinheiten
A 50 a—A 80 B	2.325	F 65 F—F 6 G	923
a 80 B—C 35 D	5.850	F 6 G—F 44 G	449
C 35 D—D 8 E	13.150	F 44 G—F 69 G	169
D 8 E—D 68 E	5.850	F 69 G—F 91 G	75
D 68 E—D 90 E	2.627	F 91 G—G 15 H'	67
D 90 E—E 15 F	2.325	G 15 H'—G 50 H'	30
E 15 F—E 65 F	1.043		

Tabelle XLII.

Gesammthelligkeit der Einzelbezirke des Spectrums der hellen Leuchtgasflamme.

	Gesammthelligkeit	
	in Hunderten von Lichteinheiten	Relative Werthe
A 50 a—B	290	0,20
B—C	403	0,28
C—D	2202	1,55
D—E	1417	1
E—F	293	0,20
F—G	137	0,09
G—G 50 H'	9	0,006

Das Spectrum der hellen Bunsen'schen Leuchtgasflamme zeigt demnach nicht bloss eine viel geringere Lichtstärke als das meiner Petroleumflamme, sondern auch eine erheblich andere Vertheilung der Helligkeitswerthe in den Einzelbezirken, namentlich im Roth und Orange, deren Lichtstärke verhältnissmässig viel mehr überwiegt.

§. 17. Die Lichtstärke der Spectren einiger chemischen Elemente.

Da wir die Hülfsmittel leider noch vollständig entbehren, um diese Lichtquellen in der, für die genaue Beobachtung erforderlichen Constanz der Lichtstärke hervorzubringen, so beschränke ich meine Messungen auf die Spectren einiger wenigen chemischen Elemente.

Um möglichst lange die Beobachtungen fortsetzen zu können, verfertigte ich in meinen Anfangsversuchen kleine Schälchen aus dünnstem Platinblech zur Aufnahme gehöriger Mengen der zu untersuchenden Substanz [1]). Die Schälchen wurden durch 3 sehr feine Platindrähte am oberen Rand des Schornsteins des Gasbrenners befestigt. Der beabsichtigte Zweck wurde zwar vollkommen erreicht, aber (wie vorauszusehen war) auf Kosten der Temperatur der Leuchtgasflamme, also auch der Sichtbarkeit der lichtschwächeren hellen Linien. Gleichwohl erhielt ich, wegen der grösseren Menge verbrennender Substanz, in Einzelfällen dieselben, ja noch grössere Lichtstärken wie bei dem gewöhnlichen Verfahren, auf welches ich schliesslich doch wieder zurückkam, obschon dabei die Beobachtung, wegen schneller Abnahme der Menge des verbrennenden Körpers, oft in lästiger Weise unterbrochen wird.

Bei den im Folgenden mitgetheilten Messungen wurde die gewöhnliche Verbrennungsmethode angewandt, d. h. die in das Öhr eines sehr feinen Platindrahtes eingeschmolzene Substanz in der lichtschwachen Gasflamme des Bunsen'schen Brenners verbrennt. Verschiedene Nebenbedingungen, vor

1) Besser wäre freilich die Anwendung des von Mitscherlich angegebenen Verfahrens gewesen; aber auch dieses gestattet, soviel ich weiss, bloss eine längere Beobachtungszeit, keineswegs aber eine zufriedenstellende Constanz der Lichtstärke.

Allem die Temperatur und die Menge des in jedem Moment vorhandenen glühenden Dampfes, sind, wie Kirchhoff zeigte, von Einfluss auf die Lichtstärke der hellen Linien. Demnach ist eine genaue Uebereinstimmung der photometrischen Messungen einer und derselben Linie vorerst nicht zu erwarten und es versteht sich, dass immer nur das Helligkeitsmaximum, welches eine bestimmte Linie bei öfters wiederholten Versuchen zeigt, in Betracht kommen kann. Man erhält dann Werthe, welche auf eine annähernde Vergleichbarkeit wohl Anspruch machen dürfen.

Das auf die Austrittsfläche des Prisma's geworfene weisse Bild der »beweglichen Spalte« war genau von derselben Beschaffenheit, wie bei den übrigen photometrischen Bestimmungen, so dass die Helligkeitsmaasse mit denen des Sonnenspectrums u. s. w. unmittelbar verglichen werden könnten, wenn die Lichtstärke der hellen Linien mit der Weite der Eintrittsspalte ebenso, wie bei den übrigen Lichtquellen, zunehmen würde. Dieses ist aber bekanntlich nicht der Fall und ich kann für die Natrium- und Lithiumlinien auf Grund meiner photometrischen Messungen versichern, dass deren Lichtstärke von der Weite der Eintrittsspalte (die Spaltbreite variirte zwischen 0,1 bis 0,23 Millim.) wirklich unabhängig ist.

Lässt man auf die helle Spectrallinie eines verbrennenden Metalles das gelblichweisse Bild der Normalflamme fallen, so beginnt die Farbe der Linie erst sichtbar zu werden bei einer bestimmten Abschwächung des Lichtes der Normalflamme; bloss die Natriumlinie ist von so eminenter Helligkeit, dass sie — und zwar mit grell gelber Farbe — im Weiss des ungeschwächten Normallichtes sichtbar wird. Auch die Hauptlinie des Lithium war in einem Fall, als mässig röthlich, im Weiss der vollen Normalflamme sichtbar; während sie in einem andern Fall erst wahrgenommen wurde, als dieses Weiss auf 0,78 abgeschwächt wurde. Die Kalilinie bei A begann dagegen erst sichtbar zu werden in dem auf

0,028 abgeschwächten Weiss der Normalflamme. Demnach würden sich die Lichtstärken der beiden Hauptlinien des Kalium und Lithium wie 1 zu 26 bis 36 verhalten; die nach meinem gewöhnlichen photometrischen Verfahren (s. die weiter unten mitgetheilten Werthe) angestellten Messungen ergeben ein Verhältniss wie 1 : 32.

Die Messungen der Lichtärke der hellen Linien wurden nach der in dieser Schrift ausschliesslich angewandten Methode angestellt. Die Lichtstärke der Normalflamme wird also durch Rauchgläser so lange abgeschwächt, bis die Farbe der hellen Spectrallinie in ihrer ganzen Ausdehnung dieselbe Sättigung annimmt; mit andern Worten: bis die vom abgeschwächten Normallicht und der Spectrallinie zugleich erleuchtete Stelle nicht mehr unterschieden werden kann von der durch die Spectrallinie allein erleuchteten Stelle des Sehfeldes. Bei der Untersuchung lichtschwacher Linien wurden die benachbarten helleren immer abgeblendet.

Für die Natriumlinie erhielt ich eine Lichtstärke von 3.033.000 Einheiten. Zur Darstellung diente Kochsalz.

Die durch Verbrennung von kohlensaurem Lithion erhaltenen Linien hatten folgende Lichtstärken: I) zwischen B und C 31.800. II) zwischen C und D 414.

Die Kalilinien (bei Anwendung von Aetzkali) verhielten sich folgendermaassen: I) bei A = 1043 Einheiten. II) bei B = 75—169, III) vor H' = 243 Einheiten. Das glühende Kali hat ausserdem die Eigenthümlichkeit, ein ziemlich ausgedehntes, lichtschwaches, continuirliches Spectrum zu zeigen; die Lichtstärke betrug vor D 169, in der Mitte des Grün und Blau 191 Einheiten, während gleichzeitige Bestimmungen der Lichtstärke der Heizflamme des Bunsen'schen Brenners bloss 67 Einheiten im Grün und Blau ergeben. Das continuirliche Kalispectrum ist somit in dieser Region etwa 3 mal heller als die Flamme der verbrennenden Kohlenwasserstoffe.

Von dem Calcium untersuchte ich die 2 Hauptlinien und einige Nebenlinien im minder brechbaren Bezirk. Verbrannt wurde Chlorcalcium. I) B 55 C = 67 Einheiten. II) C 15 D = 384. III) Erste Hauptlinie: C 50 D = 2325. IV) Linie vor D = 923. V) D 4 E = 384. VI) Zweite Hauptlinie: D 43 E = 923 Lichteinheiten.

Der Einfluss des Contrastes mit der lichtarmen Umgebung macht sich bei der gewöhnlichen subjectiven Abschätzung der Lichtstärke der hellen Linien in hohem Grade geltend. Linien im Grün und Blau, auch die Kalihauptlinie, kommen uns bedeutend hell vor; die objective photometrische Messung ergiebt aber ein gegentheiliges Resultat. Gelänge es, Metalle längere Zeit hindurch in unveränderter Lichtstärke glühend zu erhalten, so würden auch diese Leuchtobjecte der photometrischen Untersuchung ein umfassendes und lohnendes Beobachtungsfeld eröffnen.

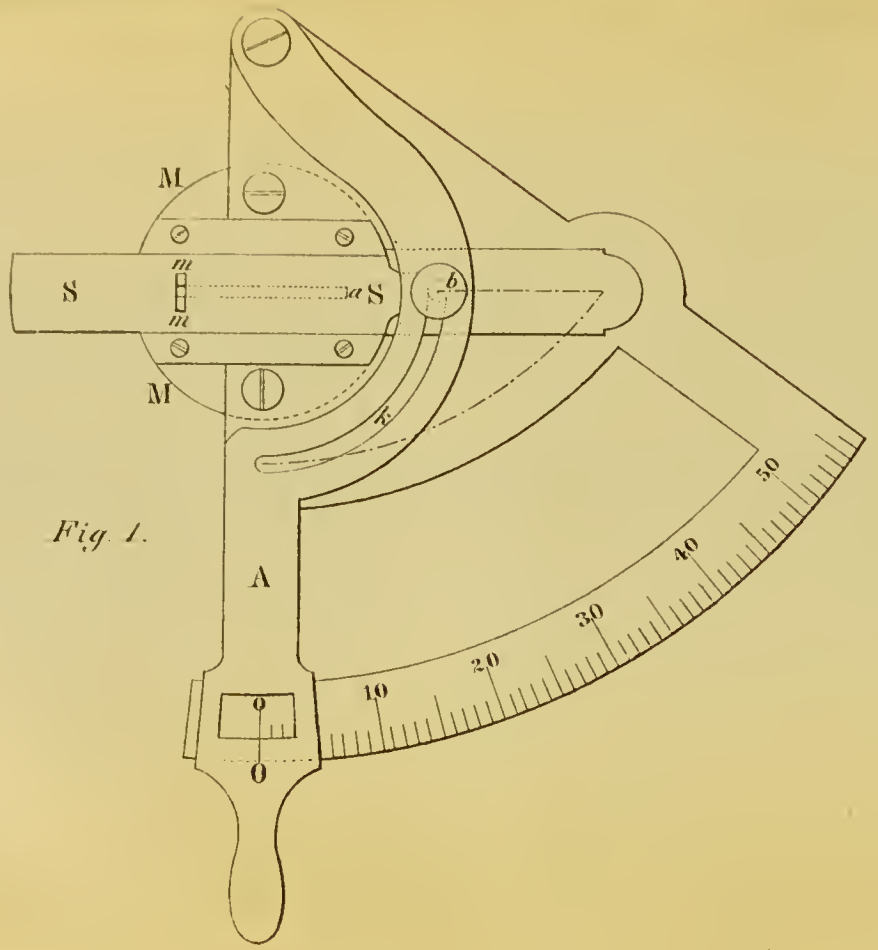


Fig. 1.

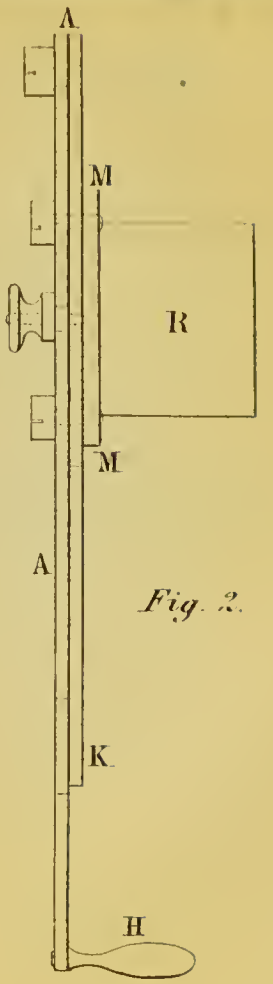
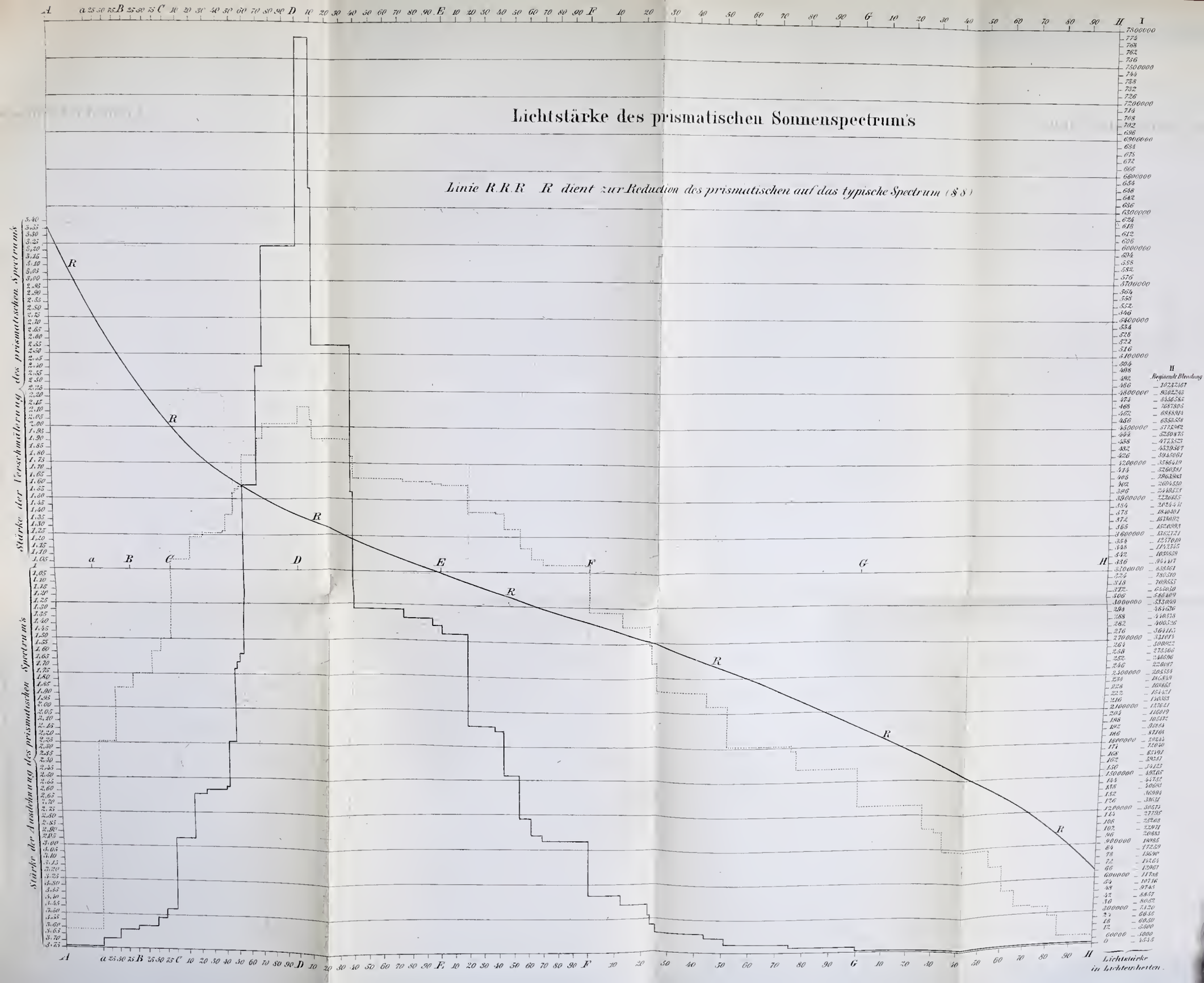
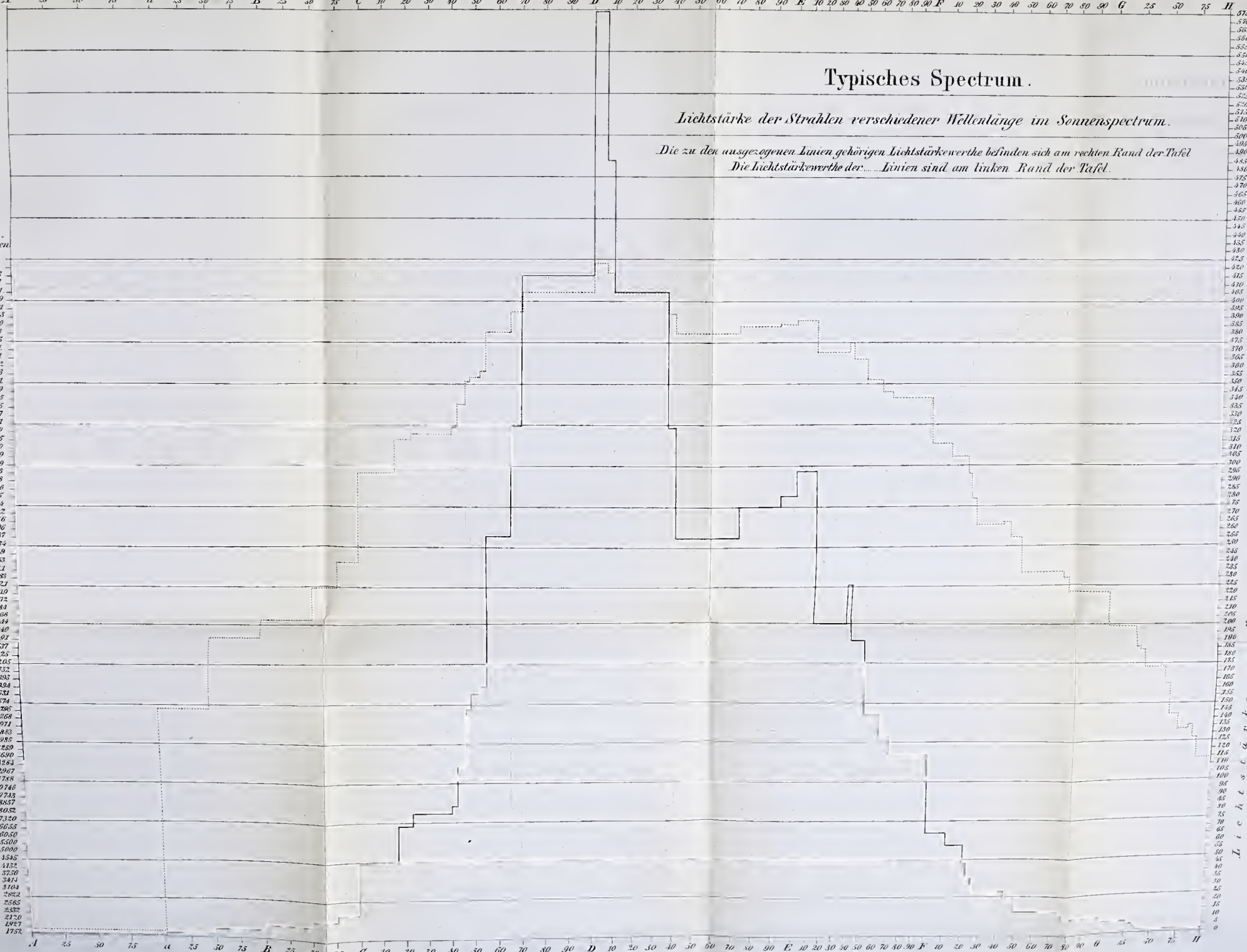


Fig. 2.


Lichtstärke des prismatischen Sonnenspectrum's
Linie R.R.R R dient zur Reduction des prismatischen auf das typische Spectrum (§ 8)
Stärke der Verschmälerung des prismatischen Spectrums
Stärke der Ausdehnung des prismatischen Spectrums
A a B C D E F G H
R
Lichtstärke in Lichteinheiten.

Typisches Spectrum.

Lichtstärke der Strahlen verschiedener Wellenlänge im Sonnenspectrum.

Die zu den ausgezogenen Linien gehörigen Lichtstärkewerthe befinden sich am rechten Rand der Tafel
Die Lichtstärkewerthe der..... Linien sind am linken Rand der Tafel.